

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**“SERVICIOS DE AGRICULTURA DE PRECISIÓN APLICADOS A
CULTIVOS DE AGROEXPORTACIÓN EN LA COSTA PERUANA”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR EL
TÍTULO DE:**

INGENIERA AGRÓNOMA

MARIA GRACIA VERAND ESCUDERO

LIMA - PERÚ

2023

La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación

(Art. 24 – Reglamento de Propiedad Intelectual)

TSP María Gracia Verand revisado por Sady García Bendezú

INFORME DE ORIGINALIDAD

9%	8%	2%	5%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional Agraria La Molina Trabajo del estudiante	3%
2	andina.pe Fuente de Internet	1%
3	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	www.car.gov.co Fuente de Internet	1%
6	web.archive.org Fuente de Internet	1%
7	repositorio.unu.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	dehesa.unex.es Fuente de Internet	1%

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE AGRONOMÍA

**“SERVICIOS DE AGRICULTURA DE
PRECISIÓN APLICADOS A CULTIVOS DE
AGROEXPORTACIÓN EN LA COSTA
PERUANA”**

MARIA GRACIA VERAND ESCUDERO

Trabajo de Suficiencia Profesional para optar el título de:

INGENIERA AGRÓNOMA

Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:

.....

Dr. Federico Alexis Dueñas
Dávila

PRESIDENTE

.....

Ph. D. Sady Javier García Bendezú

ASESOR

.....

Ing. Mg. Sc. Julio César Nazario
Ríos

MIEMBRO

.....

Ing. Mg. Sc. Carlos Julián Mestanza
Novoa

MIEMBRO

LIMA - PERÚ

2023

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Problemática	1
1.2 Objetivos	3
1.2.1 Objetivo General	3
1.2.1 Objetivos Específicos	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Principales cultivos de agroexportación en la costa peruana	3
2.2 Principios de agricultura de precisión	7
2.3 Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)	8
2.4 Índice térmico	9
2.5 Principios de las sondas de succión	10
III. DESARROLLO DE EXPERIENCIA PROFESIONAL	13
3.1 Mapas de parámetros de suelos	13
3.1.1 Mapas de características físicas	21
3.1.2 Mapas de características químicas	23
3.2 Monitoreo nutricional	26
3.2.1 Monitoreo del fertirriego	28
3.2.2 Monitoreo foliar	35
3.3 Mapeo satelital	37
3.3.1 Mapeo de NDVI	37
3.3.2 Mapeo térmico	45
3.4 Relación entre los distintos servicios de agricultura de precisión	46
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
4.1 Sobre los mapas de suelos	49
4.2 Sobre el monitoreo nutricional	49
4.3 Sobre el mapeo satelital	50
V. CONCLUSIONES	51
VI. RECOMENDACIONES	52
VII. BIBLIOGRAFÍA	53
VIII. ANEXOS	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ranking de las agroexportaciones en los años 2019 - 2020.....	3
Tabla 2: Evolución de las exportaciones del cultivo de palta en los últimos 5 años (miles US\$ FOB).....	4
Tabla 3: Evolución de las exportaciones del cultivo de arándano en los últimos 5 años (miles US\$ FOB).....	6
Tabla 4: Evolución de las exportaciones del cultivo de espárrago en los últimos 5 años (miles US\$ FOB).....	6
Tabla 5: Métodos para análisis fisicoquímicos en suelos.....	17
Tabla 6: Cronograma de muestreo para el monitoreo del fertirriego en el cultivo de vid...30	
Tabla 7: Cronograma de muestreo para el seguimiento foliar en el cultivo de palto.....	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Exportaciones de uva en US\$ Millones en los últimos 5 años.....	5
Figura 2: Lisímetro marca Soilmoisture modelo 1900.....	11
Figura 3: Implementos para el uso de lisímetros de succión.....	12
Figura 4: Esquema de muestreo mediante el uso de una red rígida.....	14
Figura 5: Mapa del perímetro de un campo agrícola.....	15
Figura 6: Flujograma del servicio de mapeo de suelos.....	20
Figura 7: Mapa de textura de un campo agrícola.....	22
Figura 8: Mapa de granulometría de un campo agrícola.....	23
Figura 9: Mapa de conductividad eléctrica de un campo agrícola.....	24
Figura 10: Mapa de cadmio de un campo de cultivo.....	25
Figura 11: Flujograma del servicio de monitoreo nutricional.....	27
Figura 12: Ilustración de un ejemplo del servicio de monitoreo de fertirriego en vid.....	29
Figura 13: Ejemplo de reporte de interpretación de monitoreo de fertirriego en vid.....	32
Figura 14: Ejemplo de interpretación de resultados de monitoreo del fertirriego en vid....	33
Figura 15: Ejemplo de resultados de monitoreo de fertirriego en palto.....	34
Figura 16: Ejemplo de reporte de interpretación de monitoreo foliar en palto.....	36
Figura 17: Ilustración del cálculo del NDVI en plantas sanas y estresadas	38
Figura 18: Mapa satelital de NDVI de un campo de palto.....	40
Figura 19: Puntos georreferenciados en las zonas verde, amarillo y naranja del campo.....	41
Figura 20: Imágenes del desarrollo del cultivo de caña de azúcar en distintas zonas del campo.....	43
Figura 21: Resultados de las evaluaciones realizadas en campo en las zonas elegidas con distintos valores de NDVI.....	43
Figura 22: Distribución de raíces en el perfil del suelo.....	44
Figura 23: Resultados de análisis de nemátodos en el suelo.....	44
Figura 24: Ejemplo de mapa térmico en el cultivo de vid.....	46
Figura 25: Relación entre el mapa de NDVI y el mapa de textura del suelo.....	47
Figura 26: Relación entre el mapa de calor (mapeo térmico) y el mapa de vigor (mapeo NDVI) en un campo agrícola.....	48

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Extracto de procedimiento interno titulado: Instalación y muestreo con lisímetros soilmoisture para el monitoreo de alta frecuencia.....	57
Anexo 2: Fotografías de la instalación de lisímetros y toma de muestras de solución suelo.....	61
Anexo 3: Fotografías de muestreo de suelos en un servicio de mapeo de suelos.....	64
Anexo 4: Fotografías que comparan el estado de los árboles de palto en zonas con distinto NDVI.....	67
Anexo 5: Extracto del manual de uso de la plataforma <i>iFood</i> para mapeo satelital.....	68

RESUMEN

Los servicios de agricultura de precisión agrupan una serie de herramientas, técnicas, instrumentos y elementos tecnológicos los cuales permiten, partiendo de data agronómica, identificar zonas de manejo uniforme y optimizar las labores agrícolas con los objetivos ya sean de incrementar la producción, la productividad u otros que afecten positivamente tanto el negocio como el medio ambiente en el que se desarrollan. El siguiente trabajo describe y ahonda en los principales servicios de agricultura de precisión desarrollados a lo largo de la costa peruana para cultivos de agroexportación. Empezando por la descripción de las tecnologías más utilizadas, continúa con el detalle de los mapas de suelos, el monitoreo nutricional, el mapeo satelital y la relación entre los distintos servicios de agricultura de precisión. En cada uno de los puntos anteriores se detallan ejemplos concretos de los mismos, así como los objetivos que estos buscan y los beneficios logrados.

Palabras clave: NDVI, mapeo satelital, monitoreo, precisión.

ABSTRACT

Precision agriculture services bring together a series of tools, techniques, instruments, and technological elements which allow, based on agronomic data, to identify areas of uniform management and optimize agricultural work with the objectives of either increasing production, productivity or others that positively affect both the business and the environment in which they operate. The following work describes and delves into the main precision agriculture services developed along the Peruvian coast for agro-export crops. Starting with the description of the most used technologies, it continues with the detail of soil maps, nutritional monitoring, satellite mapping and the relationship between the different precision agriculture services. In each of the previous points, specific examples are detailed, as well as the objectives they seek, and the benefits achieved.

Keywords: NDVI, satellite mapping, monitoring, precision.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Problemática

La agricultura, al igual que muchas actividades económicas, demanda una serie de recursos (agua, suelo, material vegetal que puede ser semillas o plantas, fertilizantes, agroquímicos, entre otros) para lograr el producto final que son las cosechas, las que constituyen la fuente principal de alimentos para la población. Estas cosechas tienen actualmente gran potencial de incremento (Barrientos, 2018), pero con una limitación grave en cuanto a recursos, como son los campos de cultivo que limitan la expansión agrícola, el agua y otros propios de la actividad como los fertilizantes, agroquímicos y semillas.

El Perú en los últimos veinte años ha pasado por una serie de procesos de desarrollo, los cuales han generado inversiones e innovaciones; esto ha permitido mantener al país posicionado como uno de los principales agroexportadores de cultivos de alto valor en el mundo (Gestión, 2019). Actualmente, la demanda de estos productos continúa incrementándose (portalfruticola.com,2021), pero por diversos motivos, varios ajenos al sector agrícola, los costos de producción se han incrementado, lo que está afectando la competitividad del sector en el país.

La agricultura de precisión permite optimizar la productividad de los terrenos y de las distintas variedades de cultivos (Díaz, 2015), permitiendo generar un producto final a un menor costo, logrando en las empresas agrícolas una mayor rentabilidad y un menor precio al consumidor. La agricultura de precisión, dentro de esta necesidad de competitividad, de producir alimentos altamente nutritivos y generar mano de obra en el Perú, se presenta como una alternativa para que se continúe por el camino en el cual se ha venido avanzando en los últimos años y no se pierda velocidad e impulso en cuanto a generación de recursos y divisas.

En este contexto, SGS decidió invertir hace ya más de 10 años en servicios de agricultura de precisión. El primer paso lo dio con la adquisición de una empresa en Sudáfrica, continuando con la adquisición de otra empresa en Brasil y en paralelo desarrollando una serie de

servicios en el Perú. Estos servicios de agricultura de precisión desarrollados en el Perú han sido de gran importancia no solo para la empresa como tal sino para el país ya que fueron específicamente diseñados para las condiciones de los cultivos de agroexportación que se encuentran en la costa peruana.

Esta experiencia le permitió a la empresa replicar lo aprendido y desarrollado en el país en otras geografías, como por ejemplo en la cuenca del Mediterráneo que es una zona geográfica que comparte condiciones similares a las nuestras.

El presente trabajo está enmarcado en los últimos años de desarrollo de la agricultura peruana, el uso de la tecnología de punta y la aplicación de esta para fines productivos, que se seguirá aplicando con mayor frecuencia en las siguientes décadas. Los ejemplos que se muestran en este trabajo serán de ayuda en este proceso.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

- Mostrar los beneficios que la aplicación de herramientas de agricultura de precisión ha brindado a agroexportadores de la costa peruana.

1.2.1 Objetivos Específicos

- Demostrar casos de aplicación de la agricultura de precisión en los que se reduce el riesgo de inversiones agrícolas, anticipándose a posibles problemas.
- Demostrar la asociación que existe entre las diferentes herramientas de agricultura de precisión que se aplican en la costa peruana.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Principales cultivos de agroexportación en la costa peruana

El rubro de la agroexportación en el Perú ha crecido de manera sostenida en los últimos 20 años, representando 7 453 millones de dólares americanos en el 2020, y siendo las uvas, paltas, arándanos, café, y espárragos los cultivos de mayor demanda en los mercados internacionales. Las principales zonas productoras de estos cultivos, a excepción del café, se encuentran en la costa (ADEX Data Trade, 2021).

En la siguiente tabla se muestran los diez principales productos de agroexportación en el 2020, en valor FOB, y su evolución con respecto al 2019.

Tabla 1: Ranking de las agroexportaciones en los años 2019 - 2020

Nº	Descripción Arancelaria	Valor FOB (millones US\$)			
		2019	2020	Var. % 2020/2019	Part. % 2020
	Total	7 095	7 453	5.05	100.00
1	Uvas frescas	878	1 020	16.27	13.69
	Arándanos rojos, mirtilos y demás				
2	frutos del género Vaccinium, frescos	815	984	20.86	13.21
3	Aguacates (paltas), frescas o secas	757	755	-0.26	10.14
4	Demás café sin descafeinar, sin tostar	635	639	0.61	8.57
5	Espárragos, frescos o refrigerados	400	382	-4.65	5.12

6	Mangos y mangostanes, frescos o secos	260	273	5.00	3.67
7	Wilkins e híbridos similares de agrios (cítricos) excepto tangelo	128	179	39.94	2.40
8	Bananas o plátanos tipo "cavendish valery" frescos	153	146	-4.73	1.95
9	Demás preparaciones utilizadas para la alimentación de los animales	195	134	-31.14	1.80
10	Demás cacao en grano, entero o partido, crudo, excepto para siembra	139	132	-5.25	1.77

Fuente: ADEX Data Trade

- **Palta**

En el año 2020 las exportaciones de palta se han situado en el tercer lugar dentro de los productos de agroexportación tradicional y no tradicional en el Perú, alcanzando un valor FOB de US\$ 754.7 millones. Si bien en el 2020 se exportó 0.3 % menos que en el 2019, para el 2021 ha logrado tener un crecimiento del 39.2 % como se observa en la siguiente tabla (ADEX Data Trade, 2021).

Tabla 2: Evolución de las exportaciones del cultivo de palta en los últimos 5 años (miles US\$ FOB)

Año	Miles US\$
2017	588 239
2018	722 170
2019	757 410
2020	755 470
2021	1 046 575

Fuente: ADEX Data Trade

Las principales zonas de producción de paltas hass en nuestro país se encuentran en las regiones de La Libertad, Lima, Lambayeque e Ica, donde se concentra el 83% de las hectáreas productivas que tiene el país (PROMPERÚ, 2021).

Según el boletín estadístico de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) del año 2017, el Perú ocupó el segundo lugar en el mundo como mayor productor y exportador de paltas (247 000 t), lo que representa el 12.4 % del total mundial exportado (Andina, 2019).

- **Uva**

Actualmente el Perú se ha logrado posicionar como el segundo país exportador de uvas a nivel mundial, solo por debajo de China. “En el 2020 las exportaciones peruanas de uva acumularon US\$ 1 034.4 millones, principalmente en presentación frescos” (Adex, 2021). Este monto refleja un crecimiento del 17.6 % con relación al 2019, manteniendo un crecimiento sostenible del 12.8 % en promedio durante los últimos 5 años.

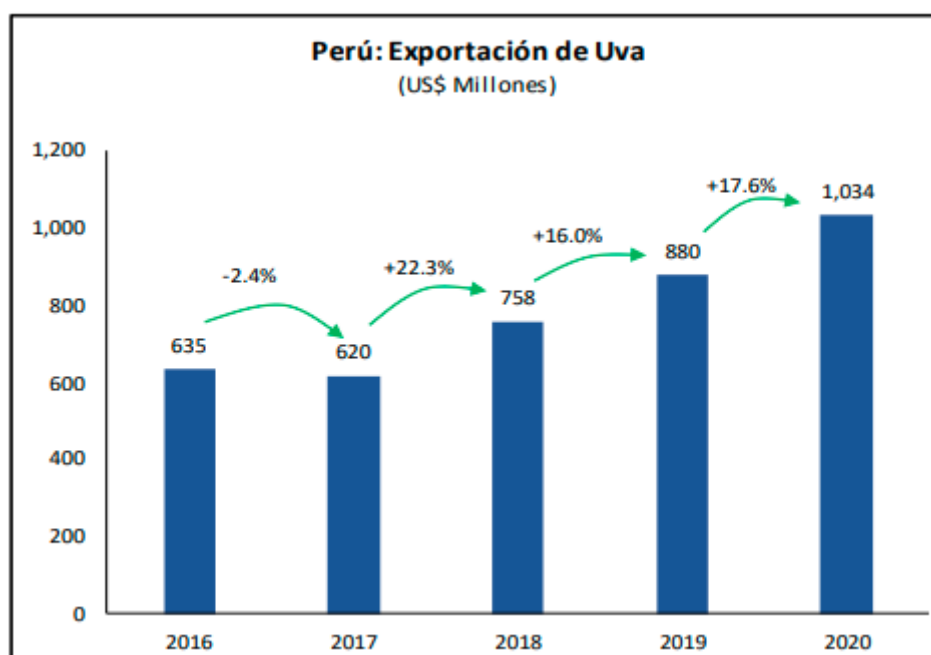


Figura 1: Exportaciones de uva en US\$ Millones en los últimos 5 años

Fuente: SUNAT, ADEX Data Trade

Según ADEX (2021) las principales zonas productoras de uvas en Perú son las regiones de Ica, que concentró el 45 % de las exportaciones totales de uva (US\$ 463.5 millones), seguido por Piura con el 42 % (US\$ 431.0 millones) y Lambayeque con el 5.7 % (US\$ 58.6 millones).

- **Arándano**

El arándano es un cultivo que si bien se ha empezado a comercializar hacia los mercados internacionales hace poco más de 5 años, ha logrado tener un crecimiento exponencial y posicionarse como el segundo cultivo de mayor importancia para las agroexportaciones peruanas, con ventas que alcanzaron los US\$ 984 479 millones en el 2020 (ADEX Data Trade, 2021).

Tabla 3: Evolución de las exportaciones del cultivo de arándano en los últimos 5 años (miles US\$ FOB)

Año	Miles US\$
2017	369 323
2018	540 152
2019	814 561
2020	984 479
2021	425 159

Nota: para el año 2021 se consideran los meses de enero a setiembre. Fuente: ADEX Data Trade

La zona costera se ha adaptado bien para la producción de este cultivo. Siendo las principales zonas de producción Chavimochic (La Libertad), Olmos (Lambayeque), Áncash, Lima, Ica (Andina, 2020).

- **Espárrago**

El espárrago se ubica en el quinto puesto de la lista de cultivos más exportados por el Perú al mundo, con ventas que al 2020 sumaron 381 millones de dólares americanos (ADEX Data Trade, 2021).

Tabla 4: Evolución de las exportaciones del cultivo de espárrago en los últimos 5 años (miles US\$ FOB)

Año	Miles US\$
2017	401 714
2018	377 510
2019	400 199
2020	381 605
2021	249 830

Nota: para el año 2021 se consideran los meses de enero a setiembre. Fuente: ADEX Data Trade

Las principales zonas de producción de espárrago son La Libertad, que concentra alrededor del 45% de la producción nacional, Ica, Ancash y Lima (Andina, 2019).

2.2 Principios de agricultura de precisión

La práctica tradicional de manejo de cultivos ha tendido a administrar los campos de manera uniforme, ignorando la variabilidad espacial inherente que se encuentra en la mayoría de los campos agrícolas. La agricultura de precisión es una práctica de gestión que ha sido posible gracias a la llegada de tecnologías de información adecuadas y, proporciona un marco dentro del cual los agricultores pueden comprender, controlar y manejar con mayor precisión lo que sucede en sus campos (Blackmore, 1994).

Según Fountas et al. (2003), la agricultura de precisión se define como el “manejo de la variabilidad espacial y temporal de los campos”. Así mismo menciona que este concepto de manejo incorpora una variedad de herramientas de gestión y TIC (Tecnologías de la Información y la Comunicación) para evaluar y manejar la variabilidad del campo.

Teniendo en cuenta las diferencias entre la agricultura tradicional y la de precisión, las ventajas de utilizar la agricultura de precisión son evidentes, debido a la posibilidad de usar recursos de forma específica y en dosis adecuadas, de acuerdo a las necesidades del cultivo. Adicionalmente, el manejo diferenciado del campo evita la aplicación de insumos de forma general en zonas donde no son necesarios, o donde se necesita la aplicación de cantidades inferiores, generando un impacto positivo sobre el medio ambiente, así como una reducción en el uso de recursos energéticos (Chartuni y Magdalena, 2014).

Para caracterizar la variabilidad de los campos, se utilizan varias herramientas tecnológicas como pueden ser los Sistemas de Posicionamiento Global, conocidos popularmente como GPS, sensores planta-clima-suelo e imágenes multiespectrales obtenidas a partir de satélites, aviones o vehículos aéreos no tripulados (Díaz, 2015).

Los datos que son captados por estos sensores se almacenan digitalmente en forma de tablas y mapas, a partir de los cuales se genera la información que ayuda al agricultor en la toma de decisiones en campo.

El objetivo principal y el más importante de la agricultura de precisión es la obtención de mayores rendimientos económicos, medioambientales y sociales, aumentando la competitividad a través de una mayor eficacia en las prácticas agrícolas (Díaz, 2015).

2.3 Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

El Índice de Vegetación Diferencial Normalizado o NDVI por sus siglas en inglés, es el más conocido y utilizado entre los índices de vegetación. La razón fundamental es que el cálculo es sencillo y dispone de un rango de variación fijo (entre -1 y $+1$), lo que permite establecer umbrales y comparar imágenes (Muñoz, 2013).

El NDVI es un índice de diferencia, puesto que se calcula a partir de la diferencia entre la reflectancia del infrarrojo y el rojo (Towers, 2009).

En términos simples, el NDVI es un indicador del vigor y la biomasa de las plantas, calculado en función a la luz que reflejan y que es capturada por el satélite. Específicamente, resulta de la diferencia entre la reflectividad de las longitudes de onda: Infrarrojo cercano (NIR) y Rojo (Red). Esta diferencia es normalizada dividiéndola entre la suma de ambas reflectividades, por lo cual los valores de NDVI se encuentran necesariamente en el rango de -1 a 1 , y debido a que la vegetación viva siempre tiene mayor reflectancia en el NIR que en el Rojo, su NDVI es mayor que 0 (SGS, 2021).

A su vez esta normalización, permite comparar resultados de NDVI en momentos distintos y áreas diferentes.

El NDVI se calcula mediante la siguiente expresión:

$$NDVI = \left(\frac{NIR - Red}{NIR + Red} \right)$$

Donde NIR es luz infrarroja cercana y Red es luz roja visible.

Según Muñoz (2013), los valores muy bajos de NDVI del orden de 0.1 corresponden a áreas rocosas, suelo descubierto, arena o nieve; valores de entre 0.2 a 0.3 corresponden a zonas de

pobre vegetación (por ejemplo, arbustos o pastos naturales); y a partir de 0.3 se tienen niveles correspondientes a praderas, cultivos agrícolas o forestales.

2.4 Índice térmico

De acuerdo con Fernández (2018), el uso de imágenes térmicas es de gran interés para el seguimiento de ocurrencias que afectan a la vegetación, y por ende es aplicable a los cultivos agrícolas. La temperatura de una superficie es inversamente proporcional a la biomasa o vigor de la planta, debido a la liberación de calor al momento de la evapotranspiración, lo que deriva en una reducción de la temperatura de la masa vegetal en comparación con el suelo descubierto.

El uso de imágenes aéreas con sensores térmicos permite determinar la temperatura del cultivo y diferenciar qué zonas del campo están con mejor o peor estado hídrico. La razón es debido a que una situación de estrés hídrico moderada promueve el cierre de los estomas en la planta, lo cual deriva en una menor actividad fotosintética (Campillo et al., 2019).

Campillo et al. (2019), también comentan que actualmente existen diferentes sensores que se pueden utilizar para determinar el estado hídrico de los cultivos, sin embargo, debido a las grandes extensiones agrícolas se invierte mucho tiempo y recursos en poder monitorear y controlar el estado hídrico. En tal sentido, el uso de nuevas tecnologías como son las imágenes aéreas tomadas por satélites o aviones no tripulados, con cámaras térmicas que permiten determinar la temperatura del cultivo, surgen como una alternativa que permite tener una fotografía global de todo el campo de cultivo.

Teniendo en cuenta lo antes descrito, el uso de imágenes térmicas constituye una herramienta adicional para la estimación de las condiciones de vigor o estrés de la planta y permite realizar un manejo diferenciado por zonas para una mejora en el rendimiento agrícola.

La temperatura de la superficie terrestre se puede calcular por medio de satélites que cuentan con sensores térmicos que utilizan la banda infrarrojo térmico, como por ejemplo es el satélite Landsat8 (Fernandez, 2018).

De esta manera, la teledetección térmica hace referencia a las medidas obtenidas por un sensor ubicado a bordo de una plataforma (un avión o satélite) que capta la radiación electromagnética emitida por la superficie terrestre en la región del infrarrojo térmico, entre los 8 y 14 μm (Martínez-Barbáchano, 2019).

2.5 Principios de las sondas de succión

Los lisímetros o sondas de succión de solución del suelo son equipos que se utilizan en campo para extraer la solución nutritiva del suelo y realizar análisis químicos en laboratorio. Su finalidad es determinar la cantidad de nutrientes que están disponibles para la planta a distintas profundidades, y en base a ello obtener información para realizar ajustes en los planes de fertilización (Gia, 2017).

Existen distintos tipos o modelos de lisímetros, pero de forma general se estos equipos constan de las siguientes partes:

- Tubo de PVC
- Cápsula de cerámica porosa
- Tapón de jebe o neopreno que se une a un tubo que se utiliza como puerta de acceso para extracción de la muestra de solución.

Adicionalmente se debe contar con una bomba de vacío manual y un kit de extracción para poder obtener la solución de los lisímetros.

Fernández et al. (2013), indican que la capsula porosa que contienen los lisímetros tienen el objetivo de captar la solución del suelo al aplicar un diferencial de presión mediante el vacío que se genera con la bomba manual. De esta forma, el modo en que la solución suelo pasa a través de la capsula porosa se asemeja al mecanismo de absorción de las raíces de las plantas.

En las Figuras 2 y 3 se muestra un ejemplo de lisímetros de succión de solución suelo y los implementos que se utilizan para su funcionamiento.

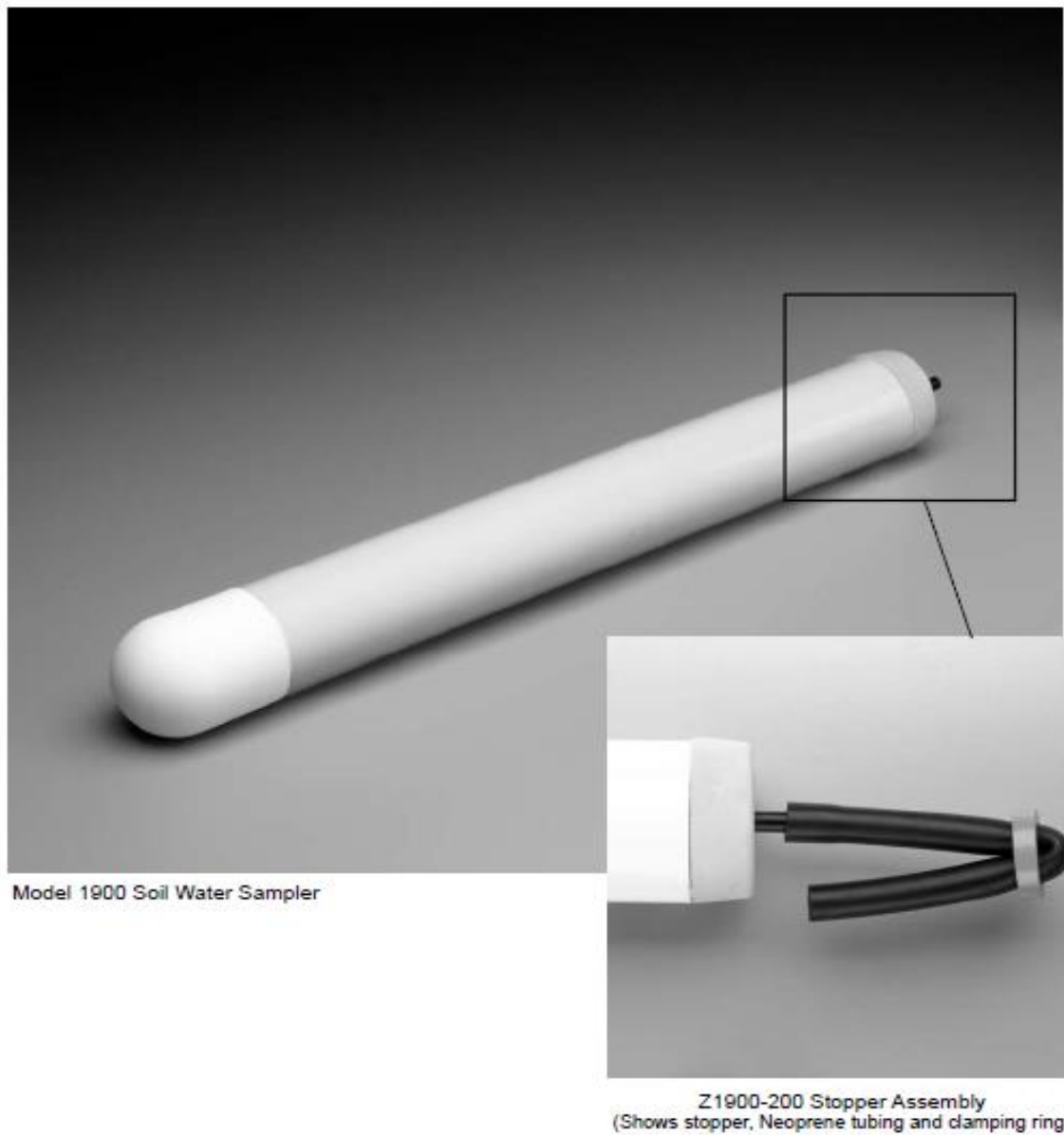
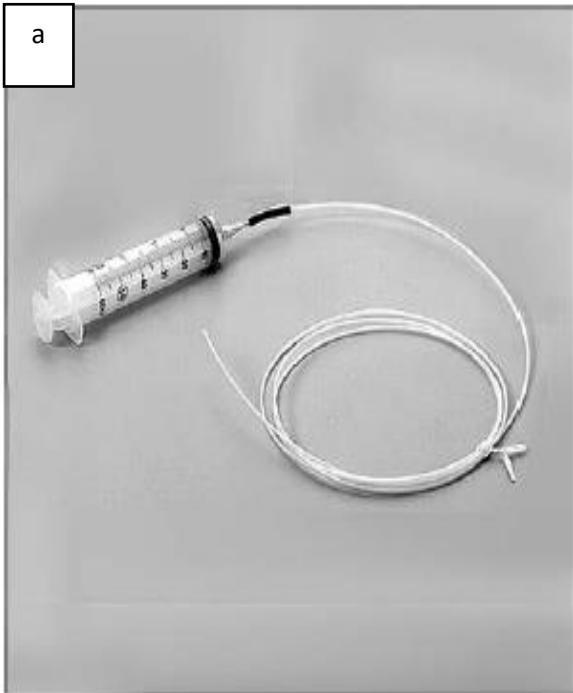
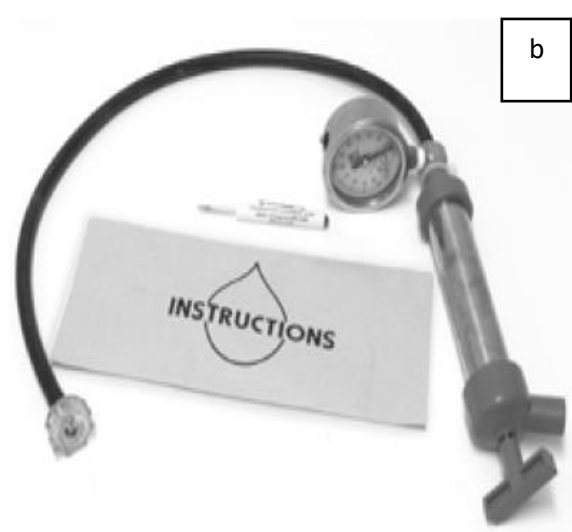


Figura 2: Lisímetro marca Soilmoisture Modelo 1900

Fuente: Soilmoisture Equipment Corp. Manual de instrucciones de operación de lisímetros Soilmoisture, 2007.



1900K2, Extraction Kit 50 ml



2005G2, Vacuum Test Hand Pump
(shown with tubing and service cap for
servicing tensiometers)

Figura 3: Implementos para el uso de lisímetros de succión de solución. a Kit de extracción de solución de lisímetros. b Bomba de vacío manual

Fuente: Soilmoisture Equipment Corp. Manual de instrucciones de operación de lisímetros Soilmoisture, 2007.

III. DESARROLLO DE EXPERIENCIA PROFESIONAL

3.1 Mapas de parámetros de suelos

El material parental del suelo, eventos geológicos y condiciones ambientales durante largos períodos de tiempo han creado una superficie terrestre que tiene importante variabilidad de nutrientes y características físicas (Jaramillo, 2011). Teniendo en cuenta lo antes mencionado, no es recomendable tomar un solo tratamiento o manejo de fertilización en suelos que pueden tener una variabilidad significativa.

El servicio de mapeo de parámetros de suelos se basa en la identificación del terreno a mapear y muestreo de suelos mediante el método de una red rígida, análisis físico y/o químico de las muestras, interpolación de los resultados, delineación y elaboración de mapas de los diferentes parámetros, todos los cuales son analizados en un área determinada con el objetivo de identificar zonas de manejo uniforme.

A través de este servicio se pueden implementar acciones que permitan al agricultor obtener los siguientes beneficios:

- Optimizar el uso de recursos, como son los fertilizantes y enmiendas.
- Aumentar el rendimiento a través de la recomendación precisa de la fertilización del suelo.
- Adecuada planificación del sistema de riego.
- Aumentar la protección del medioambiente mediante la aplicación precisa de productos.

El mapeo de suelos se realiza bajo tres fases que se describen a continuación:

- Fase de campo:

El primer paso es la delimitación de la zona a muestrear, esto se puede realizar mediante el uso de un GPS, recorriendo el perímetro del campo, o mediante imágenes satelitales.

Una vez identificado el perímetro, mediante el uso de una red rígida se determinan las coordenadas y el recorrido del muestreo, tal como se muestra en las siguientes Figuras 4 y 5. Definimos el número de puntos de muestreo a través de un sistema de monitoreo de red rígida que normalmente es utilizada en mapas con escala de gran detalle, donde se deben verificar muchas unidades cartográficas. Esta metodología de muestreo se utiliza en áreas donde se dificulta la separación de unidades o se tiene duda de sus límites debido a las características del proceso que se está identificando. Este método consiste en ubicar sitios por medio de la aplicación sistemática de una cuadrícula homogénea sobre el transecto. Los vértices de la cuadrícula corresponden a los sitios de muestreo; en cada uno de estos sitios se deben realizar las observaciones necesarias.

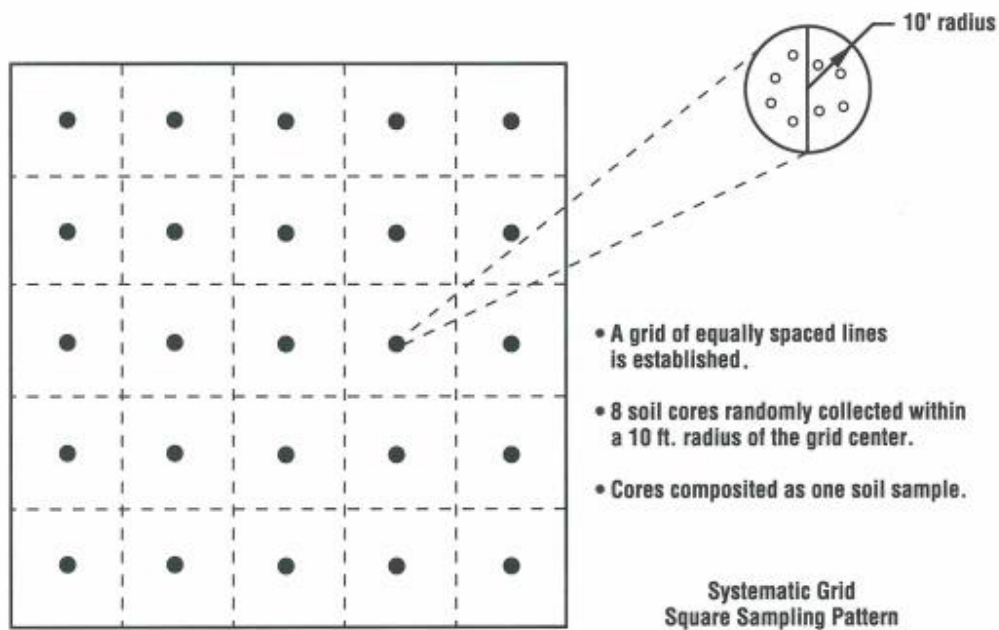


Figura 4: Esquema de muestreo mediante el uso de una red rígida

Fuente: Wolkowski y Wollenhaupt, 1994.

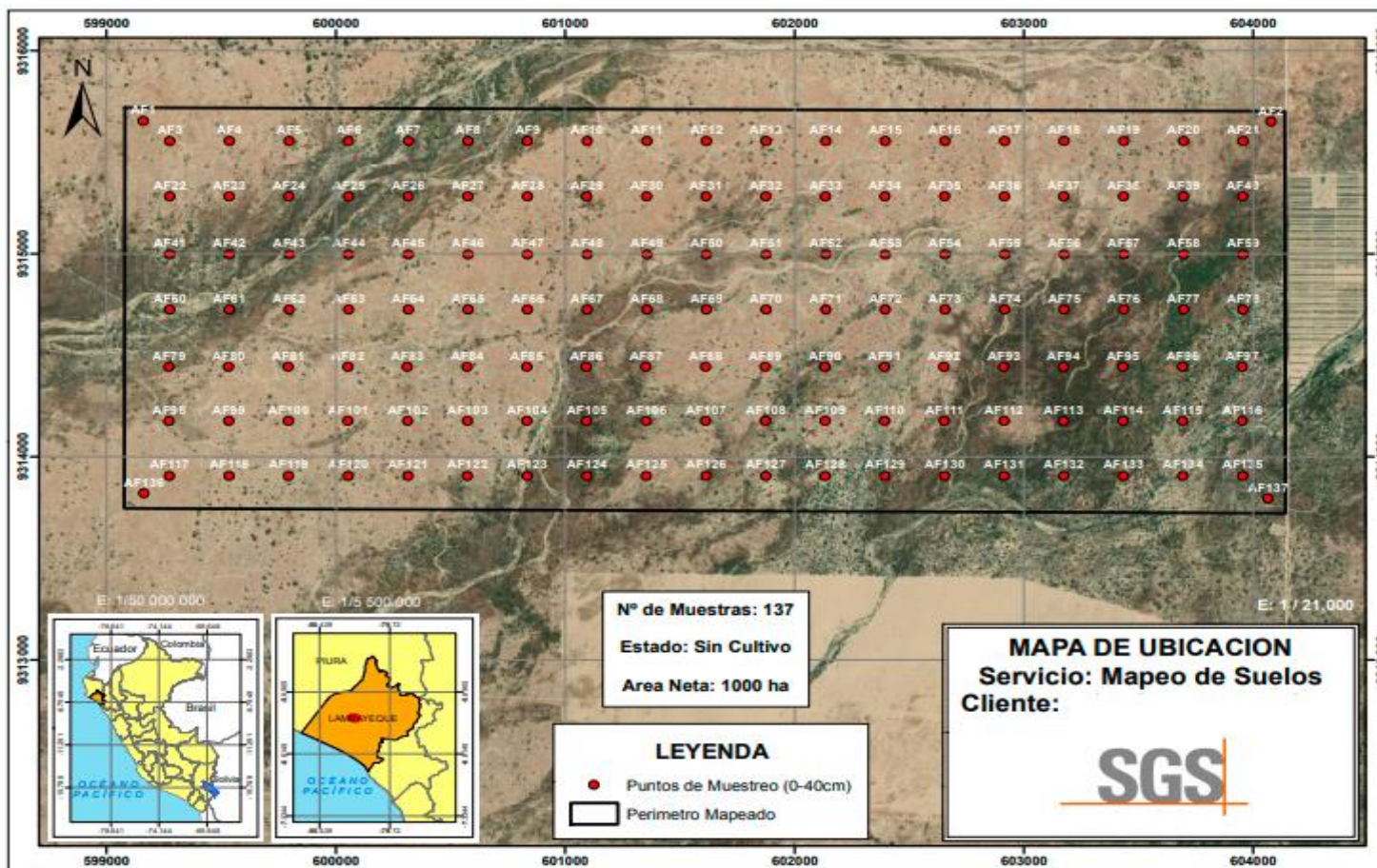


Figura 5: Mapa del perímetro de un campo agrícola

Nota. Los puntos color rojo corresponden a las coordenadas de muestreo. Fuente: Elaboración propia usada con autorización de SGS, 2020.

Para obtener las coordenadas de muestreo, se ingresa el perímetro del campo al software QGIS junto con la equidistancia entre puntos, y la herramienta llamada puntos regulares calcula las coordinadoras., las cuales son ingresadas al GPS y se procede a iniciar con el muestreo.

La toma de muestras se realiza en el centro de cada cuadrante. Usando el GPS se toma una muestra compuesta de entre 1 y 2 kg, resultante de varias sub-muestras tomadas alrededor del punto de muestreo (en un radio no mayor de 6 m). La muestra debe ser identificada con la información relevante del punto de muestreo, para finalmente dirigirse al siguiente cuadrante. Las muestras generalmente son tomadas a 30 cm de profundidad, qué es el espacio en el que las raíces de las plantas comunes pueden penetrar sin mayores obstáculos, con vistas a conseguir el agua y los nutrimentos indispensables

Después de finalizado el muestreo, las muestras son enviadas a laboratorio para el análisis correspondiente.

- Fase de laboratorio:

En la fase de laboratorio, se realizan los análisis de suelos que pueden ser de características físicas y / o químicas, dependiendo de la solicitud de cada cliente que viene relacionada a una necesidad en específico.

Tabla 5: Lista de métodos propios empleados por el laboratorio de fertilidad agrícola de SGS del Perú.

Método SGS	Determinaciones	Técnica	Referencia
SGS-MN-ME-188 / Diciembre 2014 Rev.02 / Suelos agrícolas: pH en agua	pH	Potenciometría	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000
SGS-MN-ME-190 / Abril 2015 Rev.02 / Suelos agrícolas: conductividad eléctrica	Conductividad eléctrica	C.E. por conductimetría	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000
SGS-MN-ME-212/ Agosto-2014 Rev. 01 / Suelos agrícolas: materia orgánica por volumetría - método Walkley y Black	Materia orgánica	Materia orgánica por volumetría	Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego (Bazan, 2017).
SGS-MN-ME-261 / Setiembre 2014 Rev. 00/ Suelos agrícolas: determinación colorimétrica de fósforo disponible soluble en Bicarbonato de Sodio	Fósforo disponible	Colorimetría por UV/VIS	Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego (Bazan, 2017).
SGS-MN-ME-262 / Diciembre 2014 Rev.00 /Suelos agrícolas: determinación de cationes disponibles por saturación con acetato de amonio-ICPOES	Cationes disponibles (Na,K,Ca,Mg)	Espectrofotometría de plasma: ICP-OES	Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego (Bazan, 2017).
SGS-MN-ME-271 / Abril 2015 Rev. 00/ Suelos agrícolas: determinación de capacidad de intercambio catiónico (CIC) por saturación con acetato de amonio-UV/VIS	Intercambio catiónico CIC	CIC: colorimetría por UV/VIS	Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego (Bazan, 2017).
SGS-MN-ME-263 / Diciembre 2014 Rev.00 /Suelos agrícolas - determinación de cationes cambiables por saturación de acetato de amonio-ICPOES.	Cationes cambiables Na,K,Ca,Mg; suma de cationes, suma de bases, saturación de bases	Espectrometría óptica de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente – ICP óptico	Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego (Bazan, 2017).

Método SGS	Determinaciones	Técnica	Referencia
SGS-MN-ME-217 / Agosto 2011 Rev. 00 / Suelos agrícolas: determinación de aluminio e hidrógeno intercambiables (acidez intercambiable)	Aluminio e hidrógeno cambiables	Cloruro de potasio / volumetría	Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego (Bazan, 2017).
SGS-MN-ME-193 / Noviembre.2013 Rev.01 / Suelos agrícolas: carbonato de calcio	Carbonato de calcio	Ácido clorhídrico / espectrofotometría de plasma – ICP óptico	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000
SGS-MN-ME-191 / Noviembre.2013 Rev.01 / Suelos agrícolas: textura	Textura	Hidrómetro de Bouyoucos	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000
SGS-MN-ME-219 / Marzo 2013 Rev. 02 / Determinación de microelementos disponibles: manganeso, cobre, zinc y hierro en suelos agrícolas (método de Olsen modificado)	Microelementos disponibles	Bicarbonato de sodio y EDTA / espectrofotometría de plasma – ICP óptico	Manual de Laboratorio de Edafología II (Martinez, 2009)
SGS-MN-ME- 268 / Marzo 2015 Rev. 00/ Determinación de boro soluble por UV-VIS	Boro soluble	Cloruro calcio / colorimetría por UV-VIS	Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego (Bazan, 2017).
SGS-MN-ME-275 / Junio 2015 Rev. 00 / Suelos agrícolas: determinación de la distribución del tamaño de partícula	Tamaño partícula	Física / tamizado	Métodos de análisis de suelos, Parte 1, Métodos físicos y mineralógicos (Bauder y Gee, 1986)
SGS-MN-ME-137 Metales con agua regia: suelos agrícolas	Metales pesados	ICP Masas	Método de SGS Toronto

Fuente: SGS.

- Fase de gabinete:

En la fase de gabinete, se procede a la digitalización de la información obtenida en los análisis de laboratorio y elaboración de mapas mediante la interpolación de datos para cada parámetro.

Esto se realiza mediante los siguientes pasos:

1. Se elabora un cuadro en Excel con los resultados de los análisis de suelos, las coordenadas de los puntos de muestreo y la identificación de cada punto de muestreo.
2. Generación de un *Shapefile* (formato de almacenamiento de datos vectoriales), donde se guarda la localización de los elementos geográficos (coordenadas) y los atributos asociados a ellos (análisis de suelos). Esto es realizado mediante el software QGIS.
3. Verificación de la dependencia espacial e interpolación de datos, realizado en el QGIS mediante el método de distancia inversa ponderada.
4. Elaboración de mapas de cada parámetro analizado en laboratorio

Finalmente, luego de culminada la fase de gabinete se envían los resultados al cliente, se programa una reunión de interpretación de los mapas a cargo de un especialista agrícola y se brinda soporte constante para ayudar en la implementación acciones preventivas o correctivas.

En la Figura 6 se detalla el esquema del servicio de mapeo de suelos y el propósito de realizar el servicio.

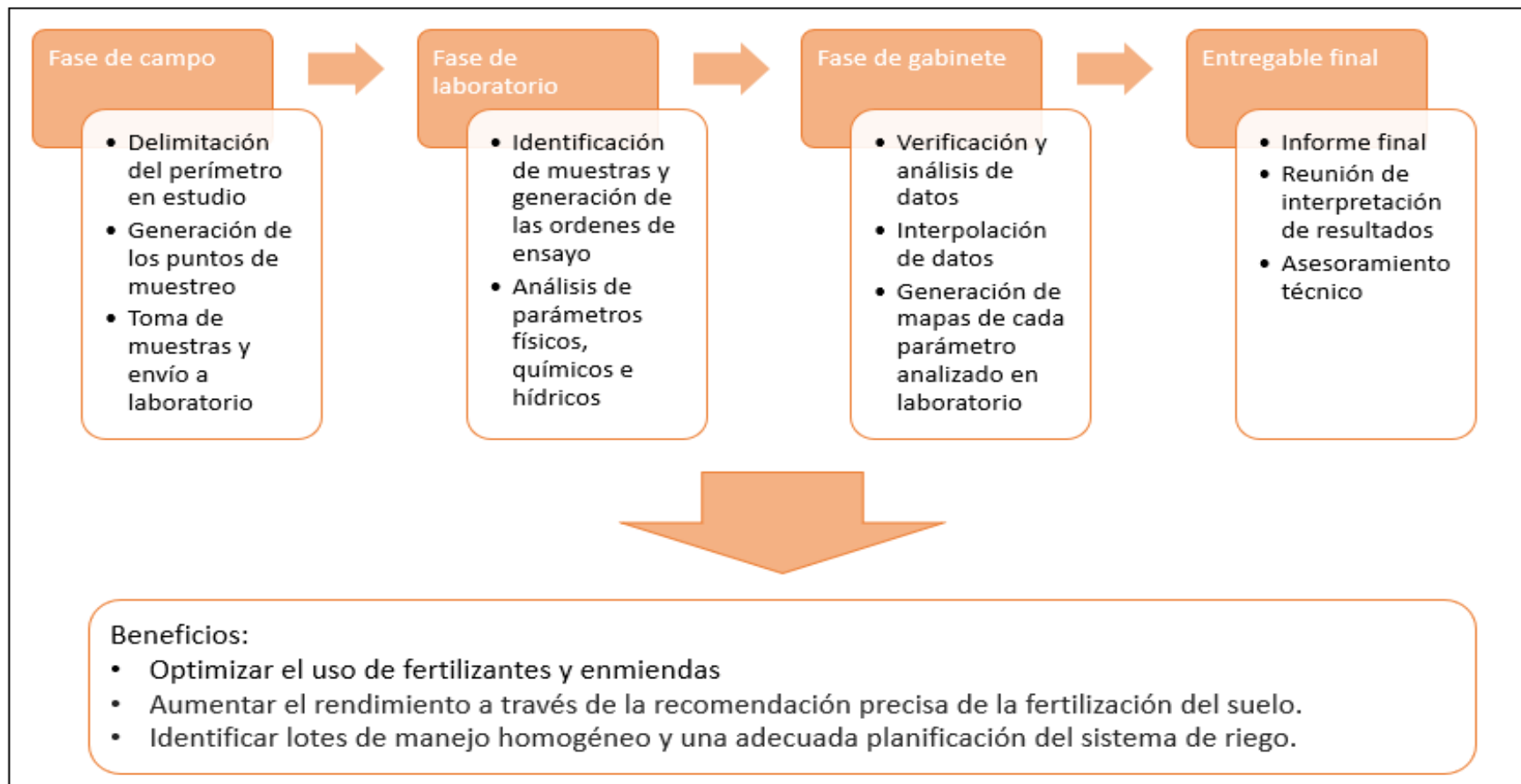


Figura 6: Flujograma del servicio de mapeo de suelos

3.1.1 Mapas de características físicas

Dentro de los mapas de características físicas se tienen los mapas de textura y los mapas de granulometría.

Conocer la textura de los suelos es de gran importancia dado que influye en el comportamiento del suelo con respecto a la capacidad de retención de agua y nutrientes. Así mismo, la textura es una propiedad del suelo que nos ayuda a determinar la forma en que se deben manejar aspectos de gran importancia como el riego. Por ejemplo, suelos arenosos tendrán una menor capacidad de retención de agua y una infiltración más rápida en comparación con suelos arcillosos por lo que el manejo del riego debe ser diferenciado. En tal sentido, un mapa de textura de suelos de un campo agrícola es una herramienta importante para determinar si existen zonas con diferentes texturas que justifiquen realizar un manejo diferenciado.

En la Figura 7 se muestra un mapa de textura realizado en un campo de palto, en el cual se puede identificar que el 78.4 % del campo es arena y el 21.6 % restante tiene características que van desde un suelo de arena franca hasta un suelo franco arcilloso, con mejores características físicas. En este estudio, las muestras de suelos fueron tomadas a una profundidad de 30 cm.

Este servicio le permitió al cliente identificar 2 zonas de manejo uniforme donde se puede diferenciar el riego y la aplicación de nutrientes en base a las características del suelo.

En la zona de textura arenosa se recomendó una mayor aplicación de materias orgánicas para que ayuden a mejorar la retención de agua y liberación de nutrientes. Así mismo, se recomienda que el riego sea más frecuente y en menor cantidad con respecto a la zona que contiene mayor cantidad de arcilla, donde el riego debe ser menos frecuente pero más prolongado.

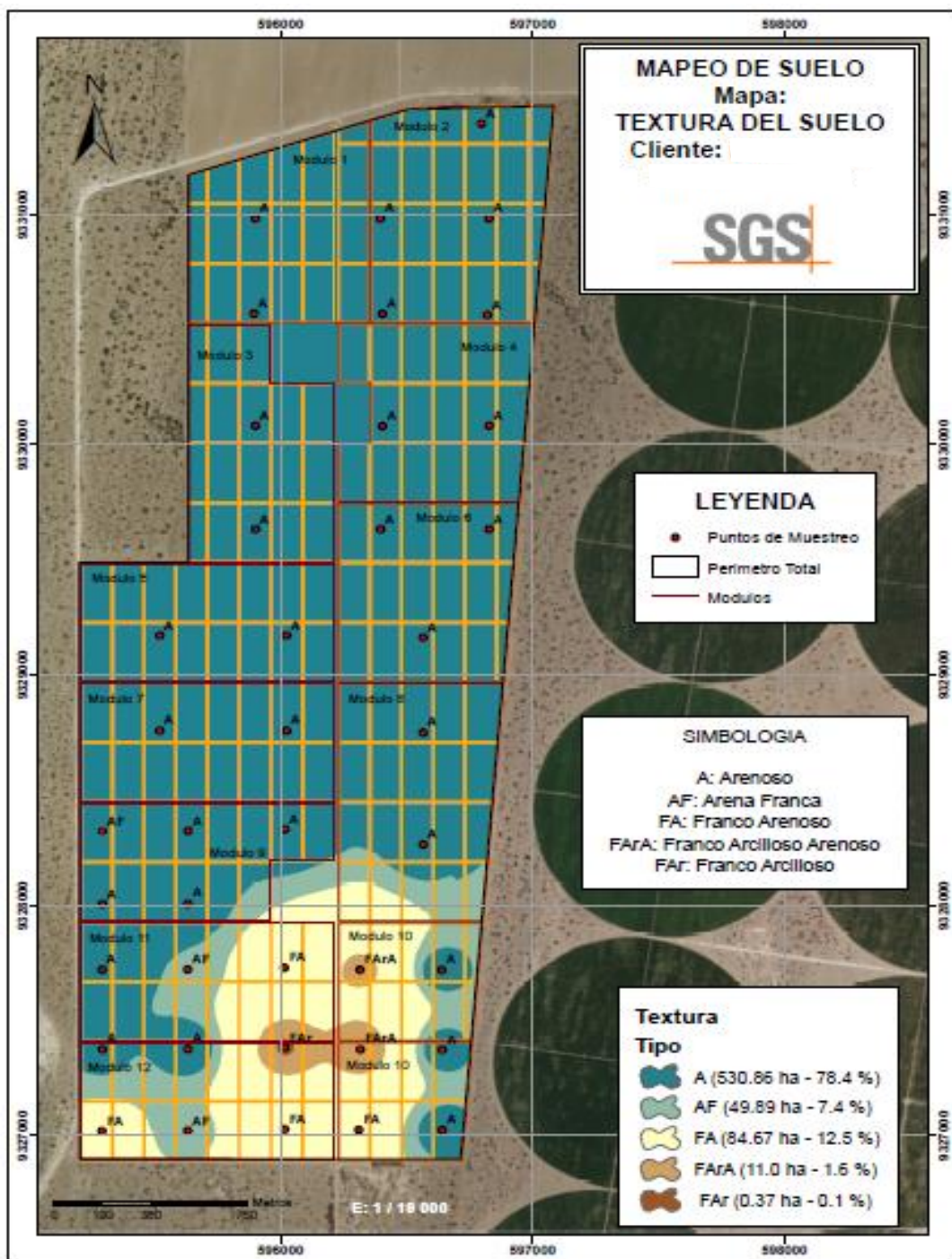


Figura 7: Mapa de textura de un campo agrícola

Fuente: Elaboración propia usada con autorización de SGS, 2018.

En la Figura 8 se muestra un mapa de granulometría o tamaño de partícula de arenas, en el cual se identifica claramente un área de 22 ha de arena muy fina. Esta información tiene relevancia ya que las arenas muy finas tienden a comportarse más como un limo que como una arena y, si se trabaja todo el campo como si fuera de textura arenosa, se pueden tener

problemas de encharcamiento en la zona de arena muy fina, lo cual se traduciría en un desarrollo deficiente del cultivo.

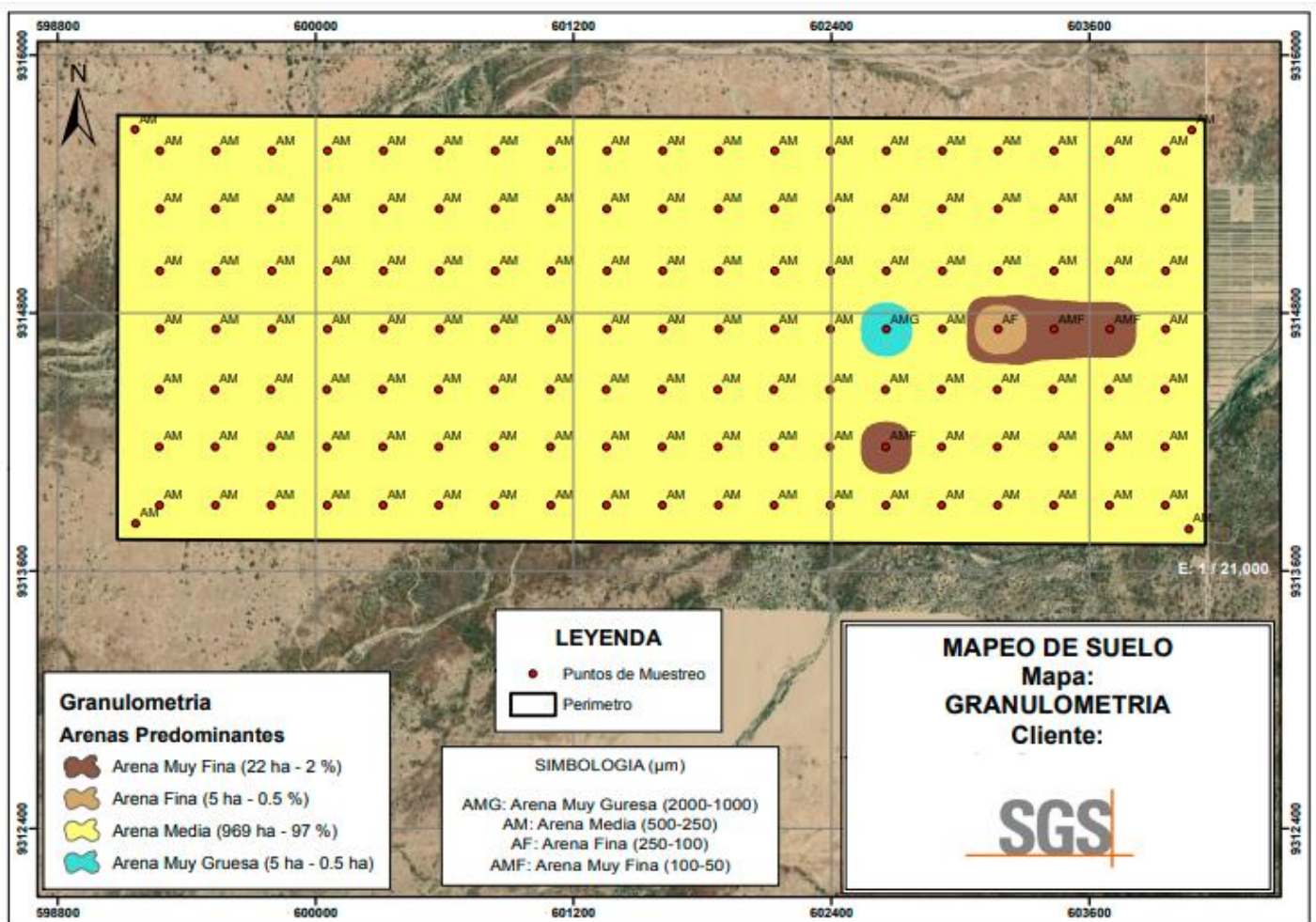


Figura 8: Mapa de granulometría de arenas de un campo agrícola

Fuente: Elaboración propia usada con autorización de SGS, 2020.

La información presentada en este mapa permite al cliente realizar un manejo diferenciado del riego y fertilización en las 22 ha que presentan arenas muy finas. En este estudio, las muestras de suelos fueron tomadas a una profundidad de 30 cm.

3.1.2 Mapas de características químicas

Dentro de los mapas de características químicas se puede realizar una gran variedad de análisis que van desde los macro y micro nutrientes hasta los análisis de metales pesados. Los principales parámetros que se trabajan en los mapas químicos son: pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, nitrógeno, carbonato de calcio, fósforo disponible, potasio

disponible, calcio cambiante, magnesio cambiante, y distintas relaciones químicas como Ca/Mg, Mg/K, Ca/K, entre otros parámetros.

En la Figura 9 se muestra un mapa de conductividad eléctrica de un campo en el cual se desea instalar el cultivo de palto, y siendo este cultivo muy susceptible a la salinidad, este servicio le permitió al cliente tomar medidas correctivas a corto, mediano y largo plazo. Esto gracias a que en el mapeo de suelos se identificaron 49.5 ha con niveles de conductividad eléctrica del suelo alta. En este estudio, las muestras de suelos fueron tomadas a una profundidad de 30 cm.

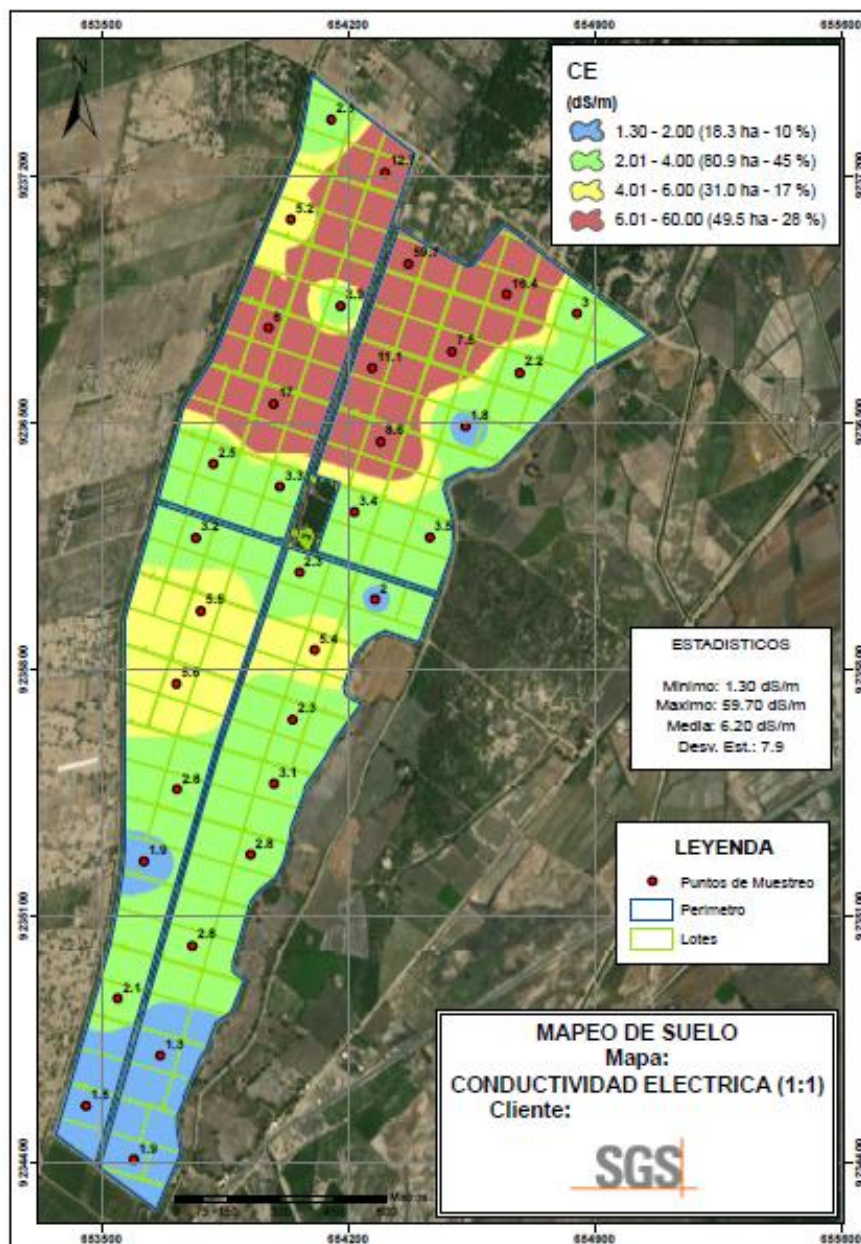


Figura 9: Mapa de conductividad eléctrica de un campo agrícola

Fuente: Elaboración propia usada con autorización de SGS, 2021

Como se mencionó anteriormente, también se realizan mapeos de metales pesados en suelos, los cuales están tomando relevancia en los últimos años debido a la problemática actual que existe en el Perú con respecto a dichos elementos, principalmente el cadmio. Estos elementos se han encontrados en destino en los productos cosechados, lo que conlleva un rechazo de la carga con la subsecuente pérdida económica, tanto para el exportador como para el productor, y la afectación de la imagen del país.

La Figura 10 muestra un mapa realizado para cadmio, en el cual se observan 2 focos con mayor presencia del metal, lo cual permite al cliente actuar por 2 frentes, el primero realizando ensayos que permitan la disipación o reducción de este metal en el suelo, y el segundo identificando la producción que proviene de esos lotes e implementando un mayor control de análisis de cadmio en fruta para asegurar que no se exporte producto con presencia de cadmio y, con ello, evitar el rechazo de la carga.

Los rangos de este metal pesado han sido establecidos en base a los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) de suelos, en donde el límite máximo es de 1.4 ppm.

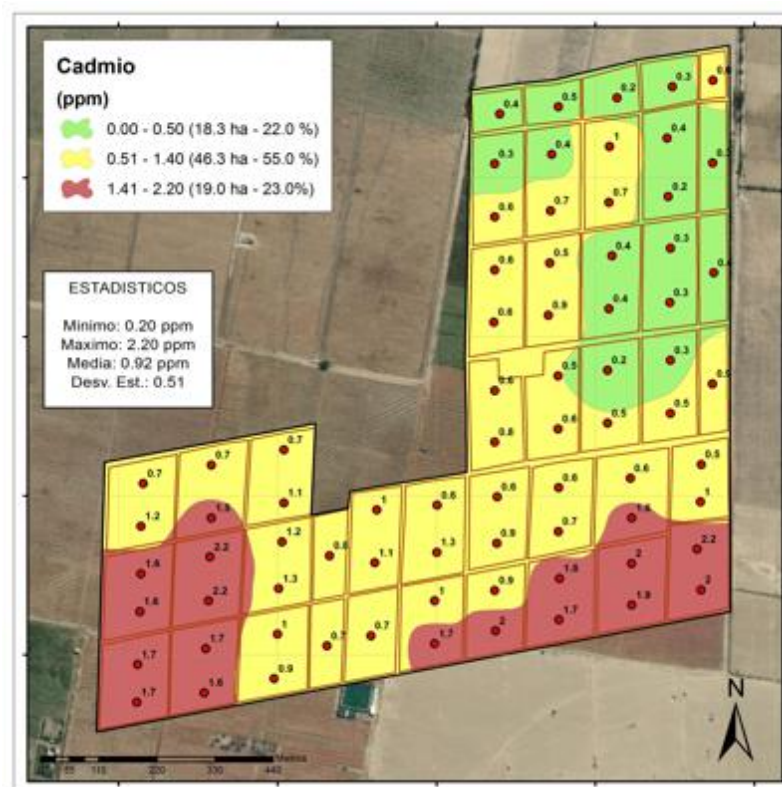


Figura 10: Mapa de cadmio de un campo de cultivo

Fuente: Elaboración propia usada con autorización de SGS, 2021.

3.2 Monitoreo nutricional

El monitoreo nutricional es una herramienta que surge con la necesidad de lograr mayores rendimientos y calidad de los cultivos, y que permite al agricultor realizar correcciones en el momento oportuno. Esta herramienta interrelaciona los resultados de análisis de agua, suelos, foliares, frutos, entre otros, en las distintas etapas fenológicas del cultivo y a lo largo de toda la campaña.

En la Figura 11 se detalla el esquema del servicio de monitoreo nutricional y el propósito de realizar el servicio.

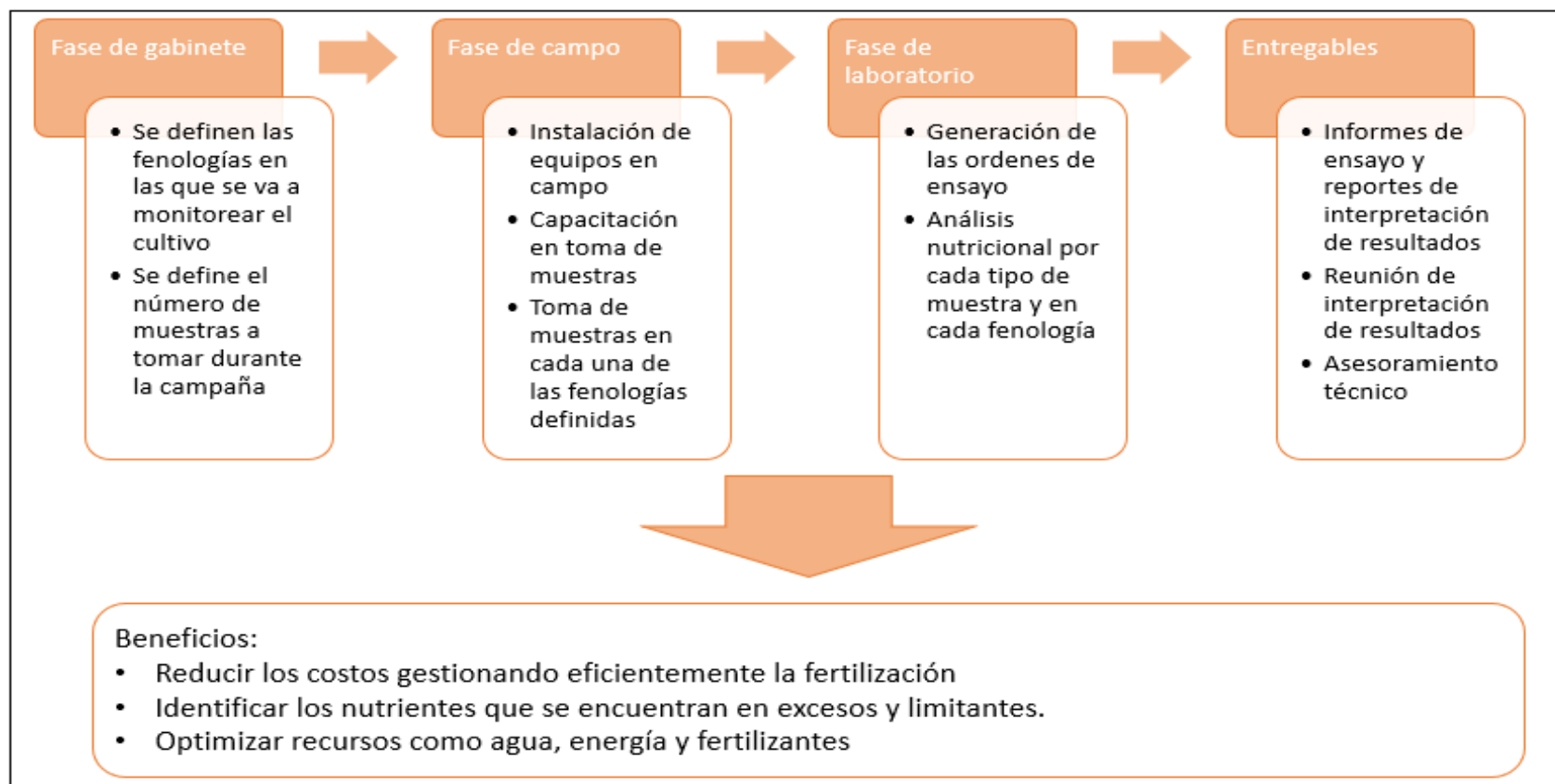


Figura 11: Flujograma del servicio de monitoreo nutricional

Nota. La toma de muestras, análisis en laboratorio, envío de informes y reunión de interpretación se realizan en cada una de las fenologías definidas en el programa de monitoreo.

3.2.1 Monitoreo del fertirriego

El servicio de Monitoreo del fertirriego permite obtener la información necesaria sobre la dinámica de nutrientes en el suelo y planta, para la mejora de la gestión de fertilización de los suelos y la nutrición de los cultivos.

A través de este servicio se pueden obtener los siguientes beneficios:

- Garantizar que los fertilizantes trabajen de manera eficiente y de forma sostenible con el medio ambiente.
- Obtener información completa para tomar decisiones sobre correcciones, ajustes o balances en la forma, cantidad y/o concentración del fertilizante usado, relacionado con la demanda de nutrientes por estado fenológico.
- Distribución más uniforme, en la proximidad del área radicular.
- Mejor disponibilidad de nutrientes (sinergismos y antagonismos).
- Aumento de la absorción de nutrientes.
- Menores pérdidas de nutrientes por lixiviación.

Todo lo antes mencionado, ayuda a tener un mejor manejo de los recursos, como son los fertilizantes, el agua y la energía, lo que se traduce finalmente en una mejor eficiencia en costos.

El servicio consiste en monitorear, en distintas fenologías del cultivo, la dinámica de los nutrientes que se aplican mediante el sistema de riego, y su disponibilidad en el suelo a distintas profundidades, para finalmente determinar si están siendo tomados por la planta en niveles óptimos.

La Figura 12 muestra un esquema del servicio de monitoreo del fertirriego en cítricos. En este esquema se muestran las distintas muestras a tomar, como son un análisis de agua y suelo inicial y, análisis de solución fertirriego, soluciones suelo a distintas profundidades y tejido vegetal en cada fenología del cultivo.

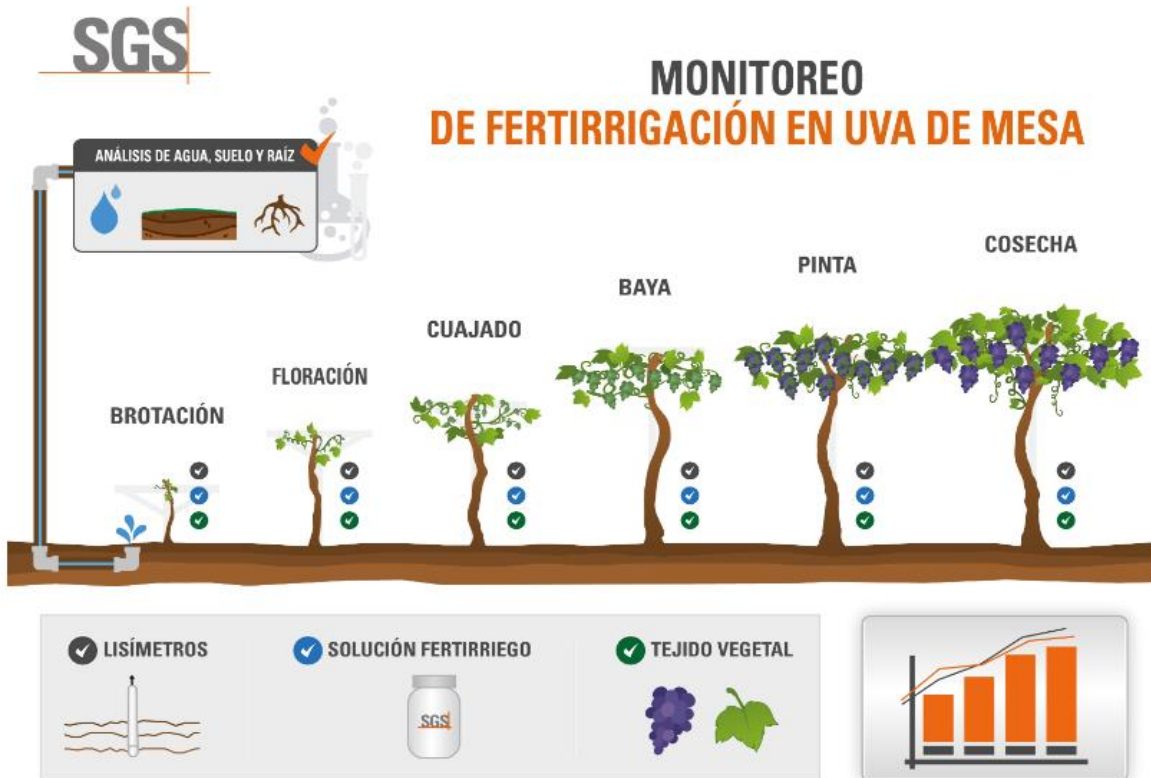


Figura 12: Ilustración de un ejemplo del servicio de monitoreo de fertirrigación en vid

Nota. La cantidad de momentos de muestreo y el número de muestras es variable y se determina en función a las necesidades de cada cliente. Fuente: Elaboración propia usada con autorización de SGS, 2014.

Este servicio es muy flexible y puede adecuarse a la necesidad de cada cliente. El primer paso consiste en identificar los momentos de muestreo y el número de muestras que se tomarán en cada momento. En la Tabla 6 se muestra un esquema de muestreo para el cultivo de mandarina.

El análisis de agua y suelo inicial determinan el punto de partida del monitoreo, con estos resultados se puede apreciar si están aportando algún nutriente al cultivo, o si por el contrario tienen alguna condición que pueda mermar la absorción de nutrientes por la planta. Luego, en cada fenología del cultivo se toman muestras de solución fertirriego (SFR), solución suelo a 20, 40 y 60 cm, y tejido vegetal (hojas y/o frutos).

Con los resultados del análisis de SFR se puede establecer cuánto se está aplicando a la planta, con las muestras de solución suelo determinar qué cantidad de nutrientes está disponible para la planta a distintas profundidades, y con los resultados de hojas cuánto está siendo absorbido por la planta.

Tabla 6: Cronograma de muestreo para el monitoreo del fertirriego en el cultivo de vid

Momentos de muestreo	Suelo 0 – 30 cm	Agua de riego	Solución Fertirriego	Lisímetro 20 cm	Lisímetro 40 cm	Lisímetro 60 cm	Foliar
Inicio de campaña	1	1	-	-	-	-	-
Brotamiento	-	-	1	1	1	1	1
Floración	-	-	1	1	1	1	1
Cuaja	-	-	1	1	1	1	1
Baya de 5-10 mm	-	-	1	1	1	1	1
Pinta	-	-	1	1	1	1	1
Cosecha	-	-	1	1	1	1	1
Total de muestras	1	1	6	6	6	6	6

Una vez que se han definido los momentos de muestreo, se realiza una capacitación al cliente sobre la toma de muestras y se instalan los lisímetros en campo. Los lisímetros son equipos que permiten extraer la solución del suelo, como se mencionó anteriormente, constan de un tubo de PVC unido en un extremo a una cápsula porosa, y en el otro extremo con un tapón que le da un cierre hermético. Para poder obtener la solución del suelo se debe generar vacío previo al riego con un bombín a 70 – 80 centibares, y luego de 24 horas se extrae la solución obtenida por el lisímetro.

La solución fertirriego, solución suelo a distintas profundidades y las muestras de tejido vegetal (hojas y frutos) son enviadas a laboratorio para los análisis respectivos.

El análisis de soluciones incluye: cationes (calcio, magnesio, potasio, sodio), aniones (cloruros, nitratos, carbonatos, bicarbonatos, sulfatos), amonio, fosfato, microelementos (hierro, cobre, manganeso, zinc, boro) adicional RAS, dureza (ppm), pH y conductividad eléctrica.

Los análisis de tejido vegetal incluyen como mínimo: nitrógeno, cloruros, fósforo, zinc, calcio, magnesio, potasio, sodio, azufre, boro, hierro, manganeso y cobre, pudiendo incluirse los análisis de nitrógeno nítrico, nitrógeno amoniacal, hierro activo y calcio logado.

Con los resultados obtenidos de los análisis de laboratorio se generan gráficas de interpretación en donde estos resultados son comparados con rangos referenciales óptimos

por cultivo. Actualmente SGS ha desarrollado rangos referenciales sobre la base de la información histórica de más de ocho años de análisis a las principales empresas agroexportadoras del país. Con esta gran cantidad de información que se maneja se ha podido generar rangos no solo por cultivo y variedad sino también diferenciada por zona geográfica (norte y sur de la costa peruana).

En la Figura 13 se muestra un ejemplo de cómo se reportan los resultados de interpretación a los clientes. Estos resultados son interpretados por el especialista técnico de SGS en una reunión presencial. Estas reuniones se realizan cada vez que se obtienen resultados, es decir, en cada fenología del cultivo, y se dan recomendaciones técnicas que ayudan a implementar medidas correctivas en la fertilización o el riego.

Fecha de Muestreo	Estado Fenológico	NO3- (meq/L)				%
		SFR	L20	L40	L60	
25-06-2019	Brote 30 cm	4.433	8.313	0.556	15.980	3.340
22-07-2019	Floración	0.958	5.588	2.556	-	2.950
10-09-2019	Baya 10 - 12 mm	0.689	0.902	5.053	9.170	2.580
14-10-2019	Pinta	0.715	0.153	0.217	0.125	2.070

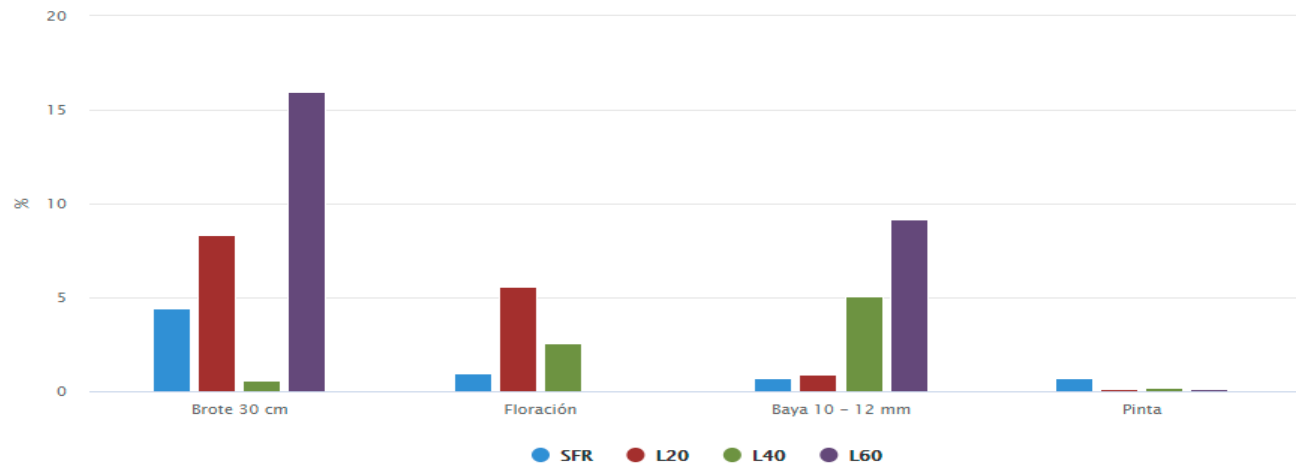
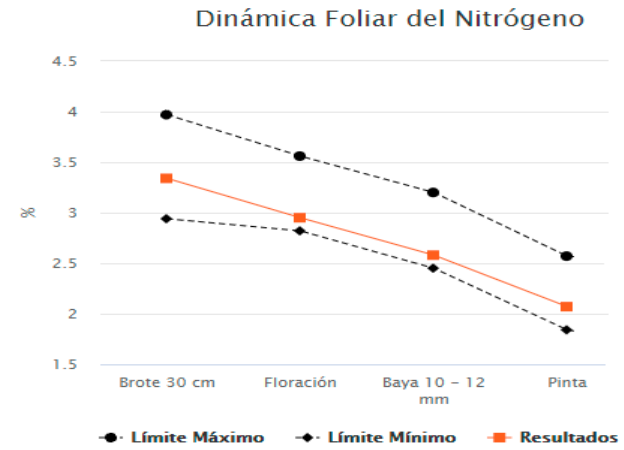


Figura 13: Ejemplo de reporte de interpretación de monitoreo de fertirriego en vid

Fuente: Elaboración propia usada con autorización de SGS, 2020.

Estado Fenológico	SFR	L20	L40	L60	Follar	Fruto	Panicula
Yema hinchada	1.62	0.16	0.01	0.23	2.59		
Floración	1.17	1.62	1.58	1.67	2.91		
Cuaja	1.35	1.33	0.93	1.25	2.88		
T. aceituna	1.00	1.08	1.09	2.31	3.21	2.37	
Fruto 50 mm	2.37	0.15	0.01	0.01	2.74	1.67	
Fruto 65 mm	2.35	0.38	0.07	0.09	2.73	1.33	
Fruto 70 mm	0.07	0.29	0.01	0.01	2.57	1.12	
Cosecha	0.16	0.26	0.05	0.04	2.43	0.95	

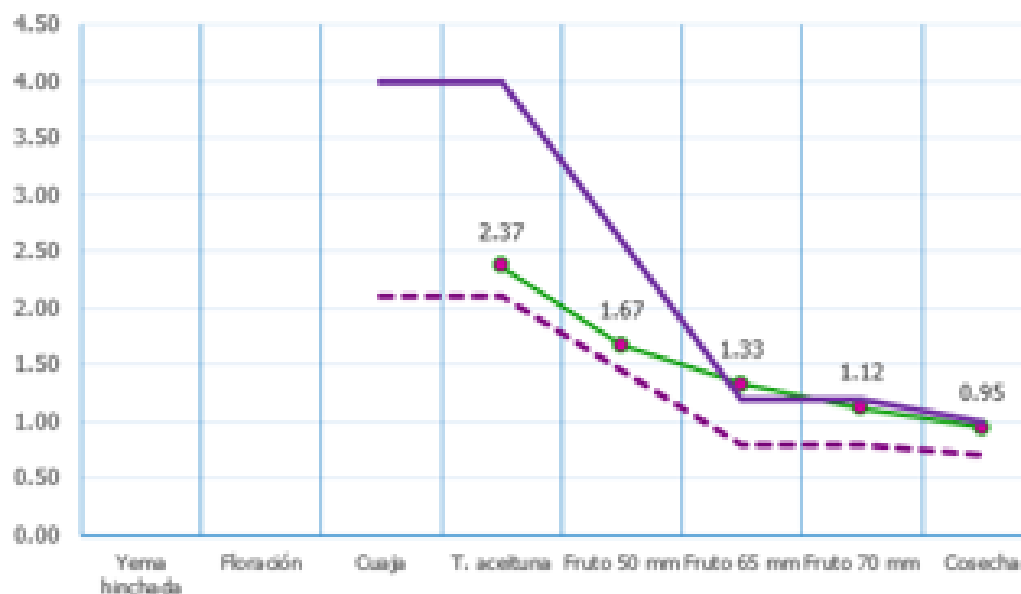


Figura 15: Ejemplo de resultados de monitoreo de fertirriego en palto

Fuente: Elaboración propia usada con autorización de SGS, 2021.

Para complementar el servicio de monitoreo de fertirriego y el de todos los servicios agrícolas en general, en SGS se creó *iFood* que es una plataforma web y aplicativo para el celular en el cual los clientes pueden tener la información de sus resultados en tiempo real. En esta plataforma se pueden acceder a los resultados de análisis y a distintos reportes de interpretación que permiten comparar los resultados con los rangos óptimos por fenología, comparar resultados históricos de distintas campañas o distintos lotes, entre otras funciones, así como recibir notificaciones cuando los resultados son validados por el laboratorio, lo que permite acceder a la información de forma oportuna, dinámica e interactiva.

3.2.2 Monitoreo foliar

El servicio de monitoreo foliar y de frutos es una adaptación del servicio de monitoreo del fertirriego en donde el seguimiento nutricional se hace únicamente en las muestras de tejido vegetal.

Al igual que el monitoreo de fertirriego, este servicio permite realizar correcciones en la fertilización, pero basándose principalmente en los resultados de los análisis de las muestras de hojas, lo cual hace que este sea un servicio de menor costo pero que igualmente trae muchos beneficios al cliente.

Para iniciar el servicio se definen las etapas fenológicas en las que se realizará el seguimiento y el número de muestras a tomar. La Tabla 7 muestra un esquema de muestreo para un seguimiento foliar y de fruto en granado.

Tabla 7: Cronograma de muestreo para el seguimiento foliar en el cultivo de palto

Momentos de muestreo	Foliar	Fruto	Raíz
Inicio de campaña	-	-	1
Yema hinchada	1	-	-
Floración	1	-	-
Cuaja	1	1	-
Crecimiento de fruto 1	1	1	-
Crecimiento de fruto 2	1	1	-
Cosecha	1	1	1
Total de muestras	6	4	2

Una vez definidos los momentos de muestreo, se realiza la capacitación al cliente en la toma de muestras, lo cual es de suma importancia dado que una muestra mal tomada puede derivar en resultados que no sean representativos del lote a monitorear.

El cliente envía las muestras en cada una de las fenologías del cultivo, y una vez emitidos los resultados junto con las interpretaciones, el especialista técnico de SGS programa una reunión presencial en campo para realizar la interpretación de los resultados y realizar las

recomendaciones necesarias para lograr una fertilización más eficiente que se traduzca finalmente en mayores rendimientos y/o mejor calidad del producto cosechado.

La Figura 16 muestra un ejemplo de un formato de interpretación del monitoreo foliar en palto.



Figura 16: Ejemplo de reporte de interpretación de monitoreo foliar en palto

Fuente: Elaboración propia usada con autorización de SGS, 2021.

Como se muestra en la imagen, este servicio permite comparar los resultados de las muestras de tejidos vegetales con los rangos referenciales por cultivo y fenología, lo que permite tomar hacer correcciones en el momento oportuno.

3.3 Mapeo satelital

3.3.1 Mapeo de NDVI

El mapeo de NDVI o mapeo verde satelital, como es llamado en SGS, consiste en el monitoreo del estado actual y desarrollo de un cultivo durante toda su campaña mediante mapas de NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada), generados a partir de imágenes de satélite de alta resolución, esto con el objetivo de visualizar la variabilidad que se tiene en el campo de cultivo y ubicar puntos críticos para realizar acciones correctivas.

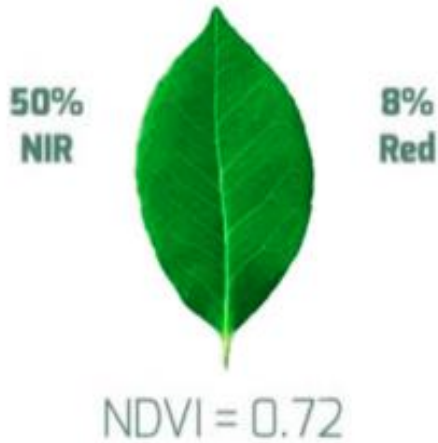
En términos simples, el NDVI es un indicador del vigor y biomasa de la planta, calculado en función a la luz que refleja y es capturada por el satélite. Específicamente, resulta de la diferencia entre la reflectividad de las longitudes de onda: infrarrojo cercano (NIR) y rojo (Red).

Esta diferencia es normalizada dividiéndola entre la suma de ambas reflectividades, lo que obliga a que los valores de NDVI necesariamente se encuentren en el rango de -1 a 1, y debido a que la vegetación viva siempre tiene mayor reflectancia en el NIR que en el rojo, su NDVI es mayor que 0.

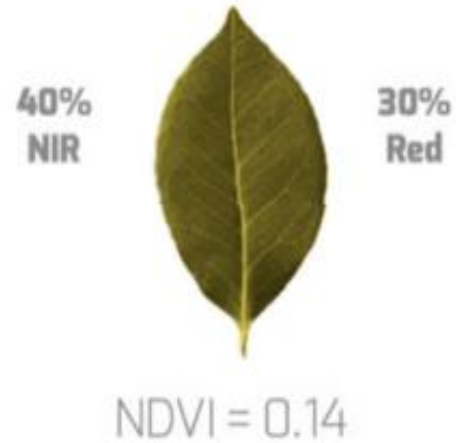
A su vez esta normalización, permite comparar resultados de NDVI en momentos distintos y áreas diferentes.

En la Figura 17 se muestra una ilustración de cómo se calcula el NDVI, y como una planta sana presenta un mayor NDVI con respecto a una planta estresada.

Reflectance of healthy vegetation



Reflectance of stressed vegetation



$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED}}$$

Figura 17: Ilustración del cálculo del NDVI en plantas sanas y estresadas

Fuente: Loures et al., 2020

El servicio de mapeo de NDVI tiene los siguientes beneficios:

- Reduce los tiempos de recorrer todo el campo y levantar información.
- Permite determinar zonas de manejo uniforme.
- Permite identificar anomalías o focos de atención relacionados a factores de suelo (pH, CE, etc.), nutricional, enfermedades, plagas, riego, entre otros.
- Permite muestrear y tomar medidas correctivas dirigidas.
- Permite determinar la variabilidad (mediante valores de CV) y evolución del cultivo durante toda la campaña; a través de datos estadísticos.

Como el NDVI refleja el desarrollo del cultivo, es importante tener en cuenta que todas las condiciones que favorecen o limitan el desarrollo del mismo pueden conducir a diferencias de vigor en el mapa. Algunas causas comunes que generan esta variabilidad son:

- Contenido de nutrientes a nivel foliar
- Contenido de agua o nivel de estrés hídrico

- Presencia de nemátodos en el suelo
- Presencia de plagas o enfermedades
- Textura del suelo
- Exceso o deficiencia de componentes químicos y microbiológicos en el suelo

El mapeo de NDVI es realizado mediante los siguientes pasos:

Primero se realiza la captura y descarga de las imágenes satelitales, las cuales son obtenidas del satélite Sentinel 2, las cuales presenta una resolución de 10x10, y pueden llegar a una resolución de 5x5 mediante un remuestreo. Posteriormente se realiza el procesamiento de las imágenes y cálculo del NDVI en la plataforma *Field Expert*, que es una plataforma GIS; para proceder finalmente a la generación de los mapas de NDVI.

Los rangos de NDVI que se muestran en los mapas se clasifican por el método de intervalos iguales.

El servicio de mapeo de NDVI incluye la entrega de mapas de NDVI en formato PDF generados a partir de imágenes de satélite los cuales pueden descargarse de la plataforma *iFood*. Estos mapas contienen valores de NDVI, cuantificación en ha de cada clase/color, datos estadísticos para análisis cuantitativo, entre otros.

En la Figura 18 se muestra un mapa de NDVI del cultivo palto, en donde se puede apreciar que el campo tiene una variabilidad de 14 % lo que corresponde a una variabilidad moderada. Las plantas desarrollan canopias más vigorosas en zonas donde las condiciones de crecimiento son mejores.

En este ejemplo, las zonas más críticas equivalen a 4.46 ha, las cuales deben ser priorizadas en la toma de decisiones.

Como se puede observar, un mapa de NDVI proporciona una radiografía general de todo el campo de cultivo y nos permite identificar fácilmente las zonas críticas que necesitan atención.

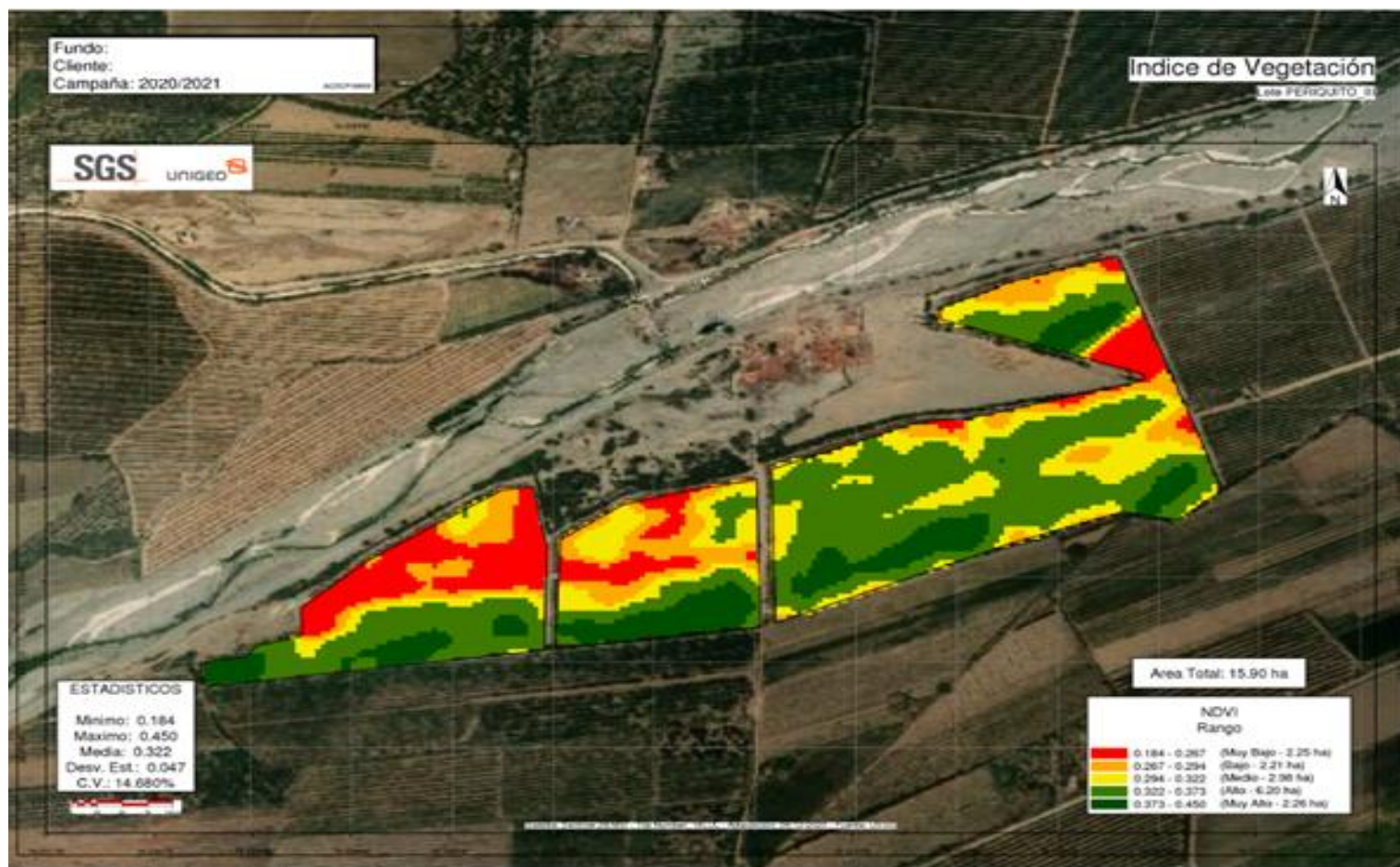


Figura 18: Mapa satelital de NDVI de un campo de palto

Fuente: Elaboración propia usada con autorización de SGS, 2021.

Adicionalmente, la aplicación *iFood* web tiene la funcionalidad de proporcionar las coordenadas de los distintos puntos de interés, los cuales pueden ser ingresados a un GPS para poder ubicar fácilmente la zona en el campo y realizar inspecciones visuales y muestreos. La aplicación para celular tiene la opción de dirigir al usuario mediante Google Maps al punto de interés.

A continuación, se muestra parte de un estudio realizado en un campo de caña de azúcar con la finalidad de validar los resultados del mapeo satelital de NDVI, y determinar algunos parámetros que influyen en la variabilidad del NDVI en el campo. Esto se realizó mediante un análisis visual en campo y toma de muestras para su posterior análisis en laboratorio.

El primer paso fue seleccionar los tres puntos en los que se realizarían las inspecciones y muestreos, tomando un punto en la zona verde, un punto en la zona amarilla y uno en la zona naranja (ver Figura 19).

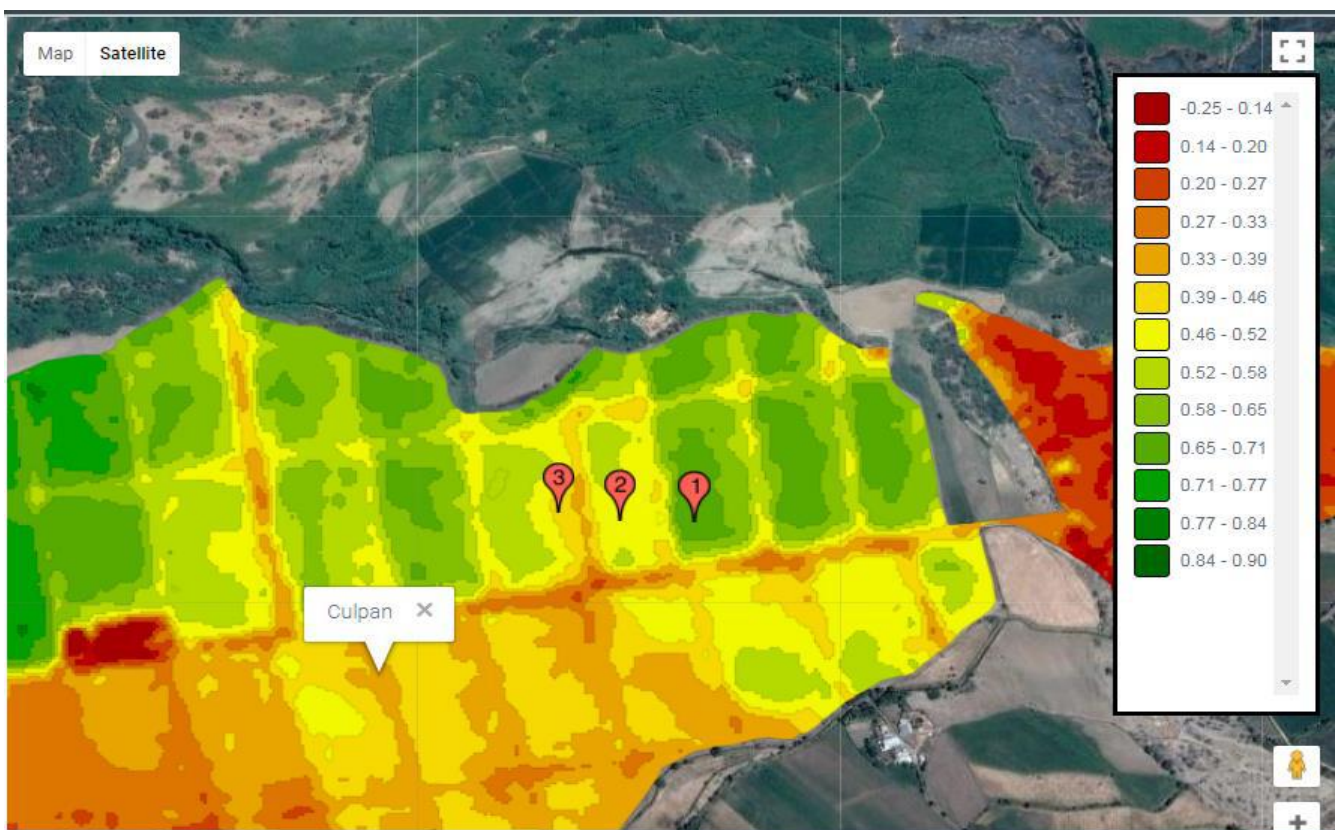


Figura 19: Puntos georreferenciados en las zonas verde, amarillo y naranja del campo

Fuente: Elaboración propia usada con autorización de SGS, 2018.

En cada área de muestreo se tomó una muestra foliar, una muestra de suelo para análisis de caracterización, una muestra de suelo y raíz para análisis nematológico; asimismo, se realizó una calicata de 1.20 m en el punto georreferenciado donde se evaluaron: número de horizontes, consistencia (muy duro, duro, friable, muy friable), fragmentos gruesos (gravillas, gravas, piedras) en cada horizonte y, la profundidad y distribución de raíces. En la Figura 20 se observa las diferencias encontradas en la inspección visual de las tres zonas.



Figura 20: Imágenes del desarrollo del cultivo de caña de azúcar en distintas zonas del campo. a. Zona verde (NDVI: 0.65 – 0.71), b. Zona amarilla (NDVI: 0.46 – 0.52), c. Zona naranja (NDVI: 0.30 0.39).

Fuente: Elaboración propia usada con autorización de SGS, 2018.

Posteriormente a la inspección visual se realizó un análisis de la biometría del cultivo, el cual consistió en la toma de datos de los siguientes parámetros: población (N° de plantas) y longitud del tallo, dentro del área de muestreo (192 m²) de cada zona. Los resultados de la biometría indicaron que la zona verde posee una mayor población y longitud de tallo respecto a las zonas amarilla y naranja (Figura 21).

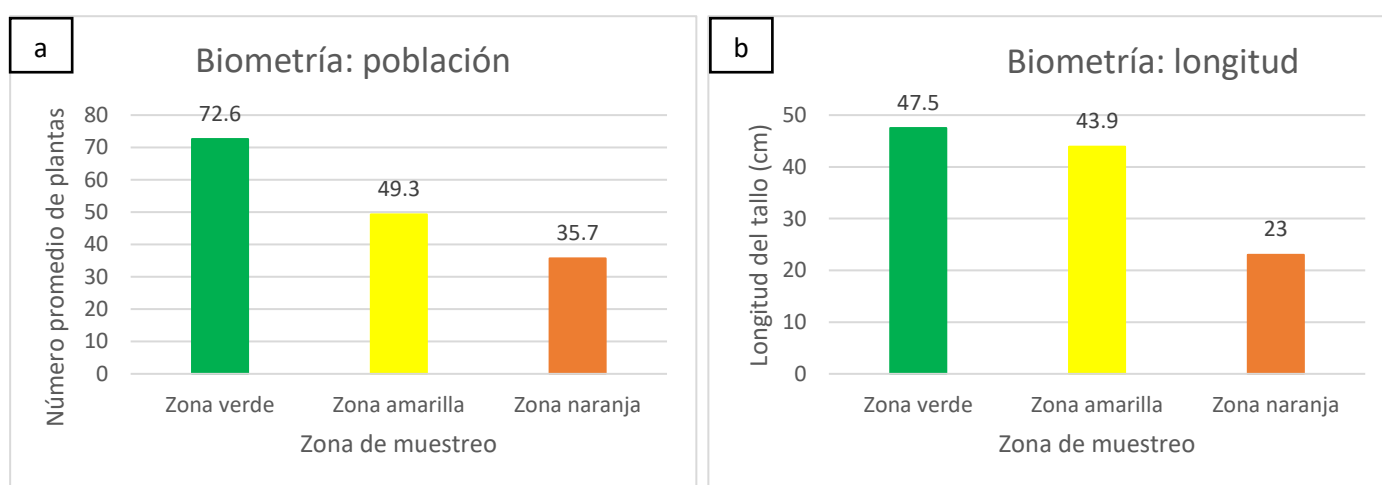


Figura 21: Resultados de las evaluaciones realizadas en campo en las zonas elegidas con distintos valores de NDVI. a. Biometría relacionada con la población (número promedio de plantas), b. Biometría relacionada con la longitud promedio del tallo.

Fuente: Elaboración propia usada con autorización de SGS, 2018.

Posteriormente se realizaron calicatas y se tomaron las distintas muestras de suelos, hojas y raíces, encontrándose que la zona amarilla en comparación con la zona verde presentó menor porcentaje de raíces y una mayor cantidad de material fino en el suelo, lo que se traduce en una pobre oxigenación que limita el crecimiento de las raíces, además del limitado

movimiento de agua en el suelo y a la mayor presencia de nematodos como *Pratylenchus* y *Dorylaimidos*, en el suelo (ver Figuras 22 y 23).



Figura 22: Distribución de raíces en el perfil del suelo

Fuente: Elaboración propia usada con autorización de SGS, 2018.

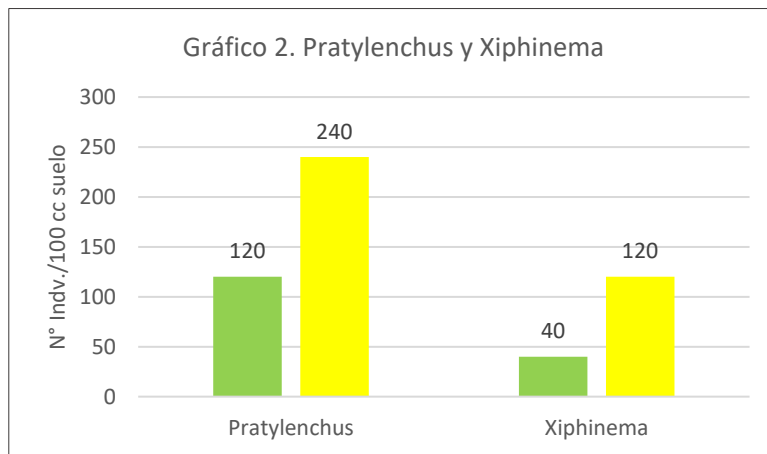


Figura 23: Resultados de análisis de nemátodos en el suelo

Nota. La barra verde muestra el número de nematos encontrados en las muestras tomadas en la zona con mayor NDVI (zona verde) mientras que la barra amarilla muestra los resultados obtenidos en la zona con NDVI intermedio (zona amarilla). Fuente: Elaboración propia usada con autorización de SGS, 2018.

Como podemos observar en el estudio realizado, el mapeo de NDVI es una herramienta de agricultura de precisión que permite identificar de forma rápida y sencilla las zonas críticas

del cultivo y realizar análisis que permitan detectar y corregir el problema que lo está ocasionando.

3.3.2 Mapeo térmico

El mapeo térmico satelital consiste en monitorear la temperatura superficial del cultivo, a través del procesamiento de imágenes satelitales. Una zona fría es indicador de un buen estado hídrico del cultivo mientras que una zona caliente es indicador de estrés del cultivo. Esto debido a que cuando el cultivo se somete a estrés hídrico, los estomas se cierran, la transpiración decrece y la temperatura de la hoja aumenta.

El servicio de mapeo térmico tiene los siguientes beneficios:

- Manejo de riego en base a zonas de estrés uniforme.
- Monitoreo del estado hídrico del cultivo.

En la Figura 24 se muestra el mapa térmico de un campo de cultivo de vid en donde se puede observar claramente las diferencias de temperatura en algunos sectores del campo.

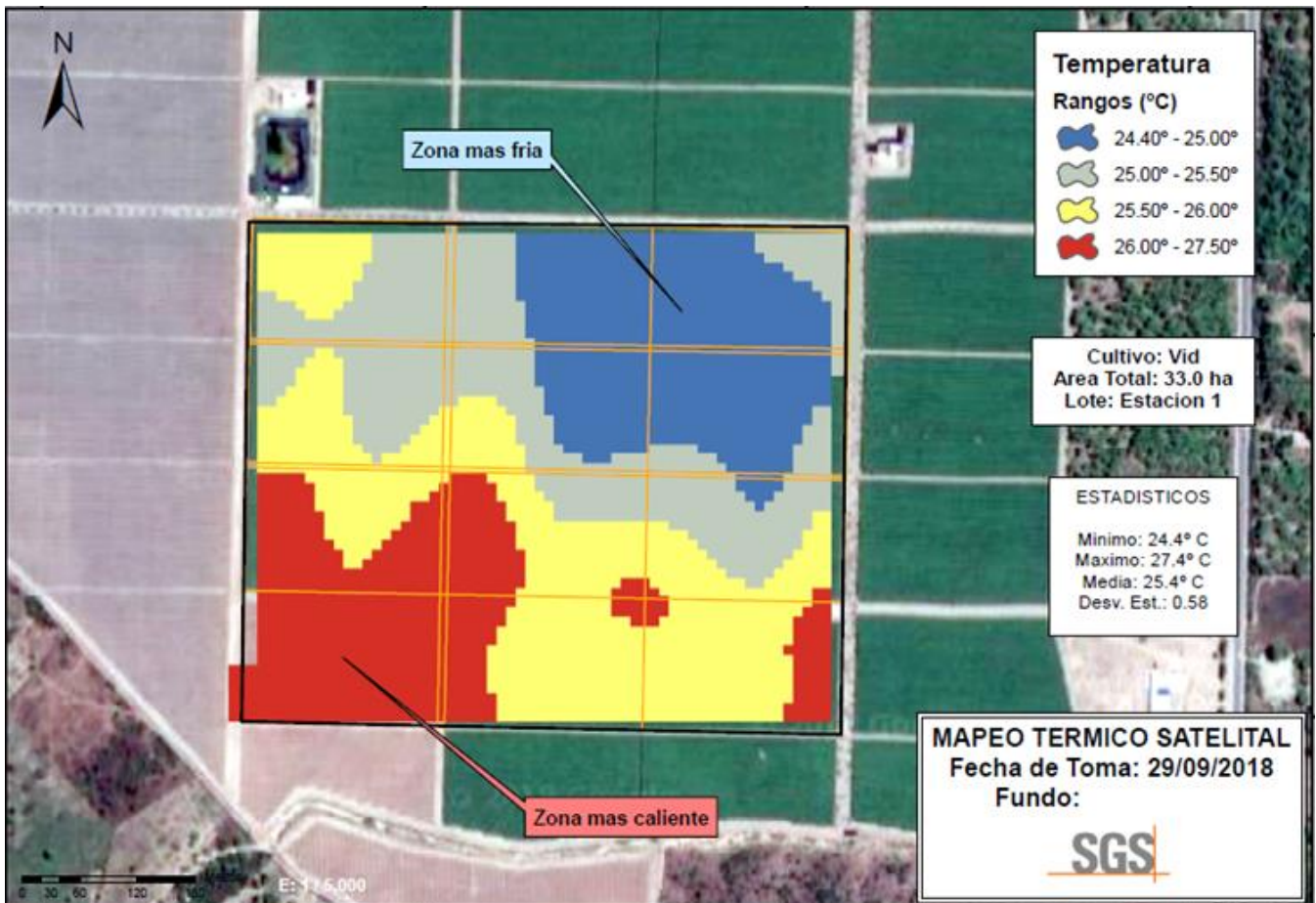


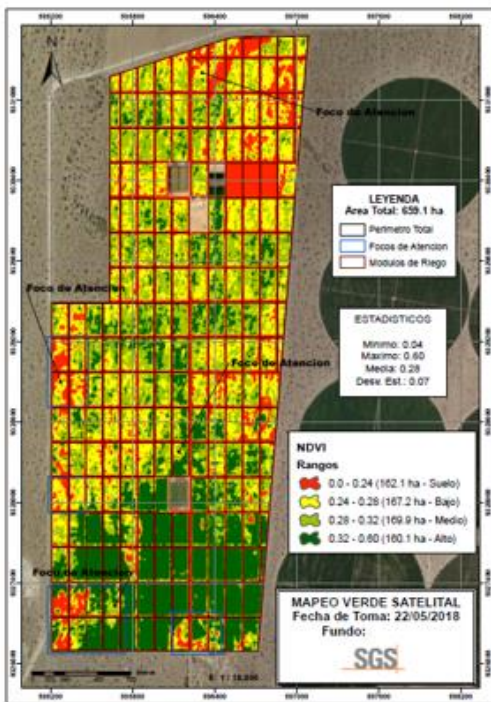
Figura 24: Ejemplo de mapa térmico en el cultivo de vid

Fuente: Elaboración propia usada con autorización de SGS, 2018.

3.4 Relación entre los distintos servicios de agricultura de precisión

Las distintas herramientas de agricultura de precisión pueden interrelacionarse entre sí, generando un mayor beneficio al cliente. En tal sentido, a continuación, se muestran algunos ejemplos de las relaciones que se han podido identificar en los distintos servicios de SGS.

La Figura 25 muestra la relación que existe entre el mapa de textura del suelo y el mapa de NDVI de ese mismo campo. Como se puede observar, la zona con mejor NDVI es la zona en la que el suelo es franco arenoso y franco arcilloso, esto debido a que estos tipos de suelos tienen un mayor CIC y mejor retención de agua en el suelo. Estas condiciones permiten que la planta se desarrolle de manera más favorable. Por otro lado, la zona de textura arenosa presenta el NDVI más bajo.



**Zona con mayor NDVI
 (Mayor Producción Esperada)**



Suelo textura de suelo Franco Arenoso y Franco Arcilloso.



Mayor CIC (mas nutrientes) y mayor retención de agua.

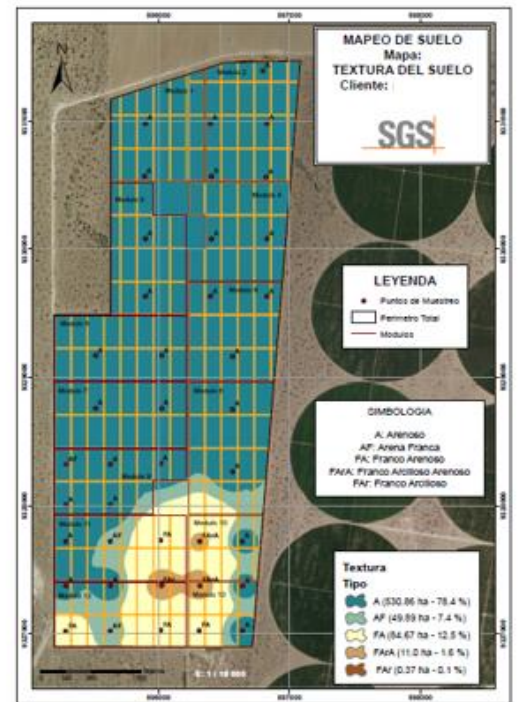
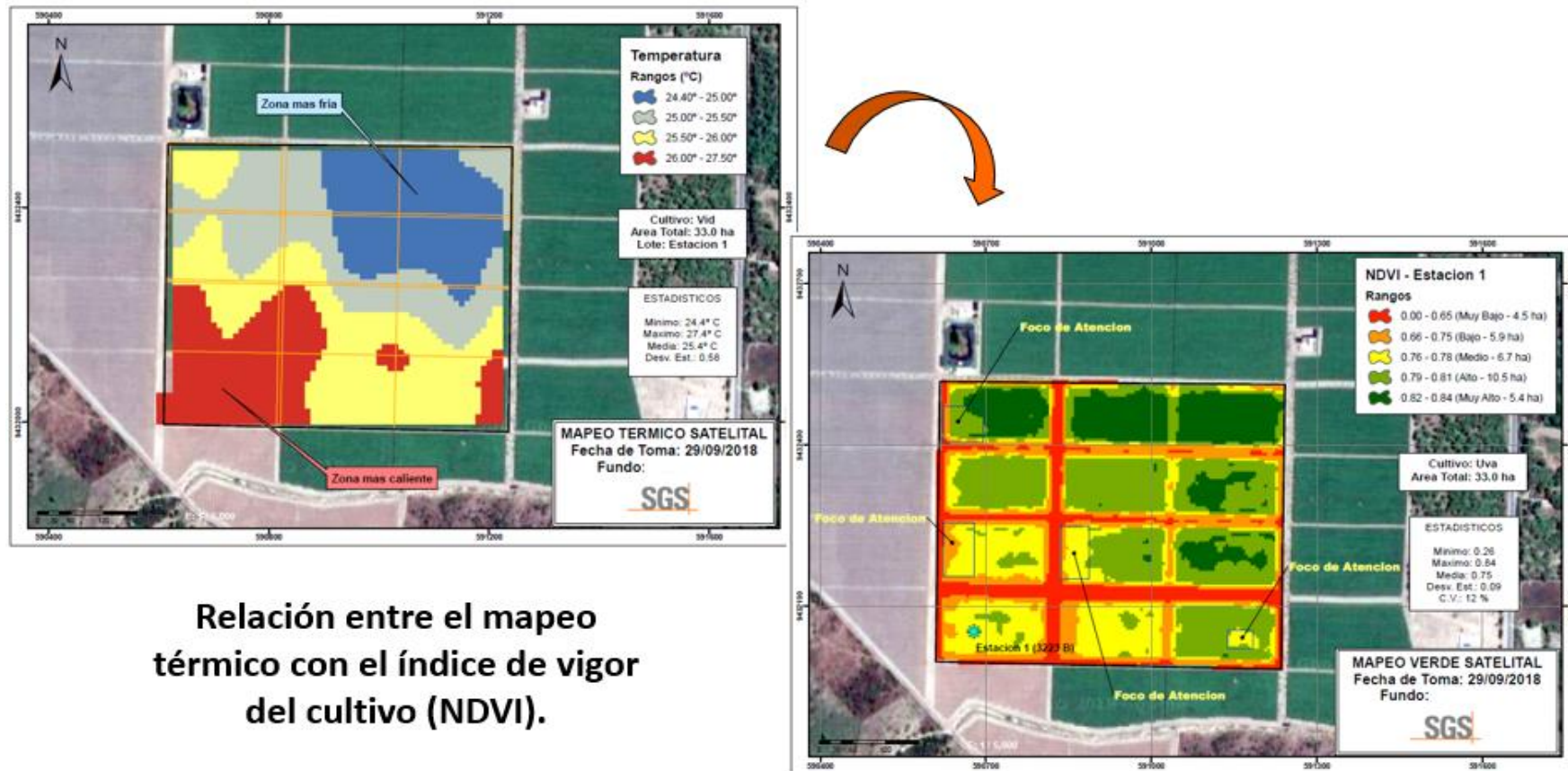


Figura 25: Relación entre el mapa de NDVI y el mapa de textura del suelo.

Fuente: Elaboración propia usada con autorización de SGS, 2018.

La Figura 26 muestra la relación que existe entre el mapa térmico y el mapa de NDVI de ese mismo campo. Como se puede observar, la zona más fría, es decir la zona con mayor contenido de humedad en el suelo, es la zona que presenta el mejor NDVI. Mientras que la zona más caliente es la que presenta los NDVI más bajos.

La relación que existe entre ambos mapas da un indicio de que el posible problema que está ocasionando la falta de uniformidad del campo está asociado al tema del riego, y permite al cliente realizar una inspección visual en las zonas más afectadas para identificar y corregir el problema.



Relación entre el mapeo térmico con el índice de vigor del cultivo (NDVI).

Figura 26: Relación entre el mapa de calor (mapeo térmico) y el mapa de vigor (mapeo NDVI) en un campo agrícola.

Fuente: Elaboración propia usada con autorización de SGS, 2018.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Sobre los mapas de suelos

A lo largo de los años se han realizado una gran cantidad de servicios de mapas de suelos en diferentes clientes en la costa peruana, tanto para análisis fisicoquímicos como para análisis de metales pesados.

En el caso de los mapas de suelos de características fisicoquímicas, estos han servido para ayudar al agricultor a optimizar el uso de recursos tales como fertilizantes y enmiendas; y aumentar el rendimiento de sus cultivos, al poder identificar zonas de manejo diferenciado dentro del terreno de cultivo.

En el caso de los mapas de suelos de metales pesados, estos han servido para poder identificar zonas con mayor o menor presencia de metales, tales como el cadmio; metal pesado cuya presencia ha tomado mayor relevancia en los últimos años al estar relacionado con rechazos de fruta en destino por presencia de este metal. Al poder identificar focos con mayor presencia de cadmio se ha podido determinar zonas en donde realizar ensayos de disipación de este elemento, así como realizar un monitoreo más preciso a la fruta para asegurar que no se presentes rechazos del producto en destino.

4.2 Sobre el monitoreo nutricional

A través de los distintos servicios realizados de monitoreo nutricional a lo largo de más de 10 años a diferentes agroexportadores de la costa peruana, se ha podido determinar que el monitoreo nutricional es una herramienta que permite al agricultor realizar correcciones en la fertilización de sus cultivos en el momento oportuno, para asegurar una mejor producción de sus cultivos. Así mismo, al realizar un monitoreo continuo en cada una de las etapas fenológicas del cultivo, permite identificar los nutrientes que se encuentran en exceso pudiendo ajustar la fertilización para optimizar recursos, como son los fertilizantes, el agua y la energía, lo que se traduce finalmente en una mejor eficiencia en costos.

4.3 Sobre el mapeo satelital

El servicio de mapeo satelital permite obtener mapas térmicos o de NDVI que proporcionan una radiografía general de todo el campo de cultivo, y que permiten identificar fácilmente zonas de manejo uniforme y determinar los focos de atención en donde se deben ahondar en la determinación de la causa que está originando el problema.

En el caso de los mapas de NDVI, estos nos dan la información del estado de desarrollo o vigor del cultivo, lo cual permite identificar zonas de manejo uniforme y focos de atención relacionados a factores de suelo (pH, CE, etc.), nutricional, enfermedades, plagas, riego, entre otros; permitiendo al agricultor dirigirse de forma precisa a las zonas identificadas para realizar muestreos y tomar medidas correctivas dirigidas. Todo esto conlleva en una reducción de tiempos en recorrer todo el campo y levantar información, lo que se traduce en un beneficio económico.

En el caso de los mapas térmicos, estos nos brindan la información de la temperatura superficial del cultivo, lo cual permite un monitoreo del estado hídrico del cultivo y un manejo del riego en base a zonas de estrés uniforme.

V. CONCLUSIONES

- Los servicios de agricultura de precisión permiten realizar un manejo diferenciado del campo de cultivo, lo que conlleva a la obtención de mayores rendimientos económicos y medioambientales al permitir la optimización de recursos como fertilizantes, agua y energía.
- Mediante el uso herramientas de agricultura de precisión como las imágenes de NDVI se logra una rápida identificación de zonas con problemas. El uso de imágenes de NDVI, combinadas con la función de geolocalización de un punto específico en el campo, ha permitido que en un muy breve lapso de tiempo el responsable del predio pueda acceder a las zonas que presentan características diferentes e identificar los posibles problemas. Antes de la aparición de esta herramienta, la identificación debía hacerse mediante el recorrido visual del campo, lo que implicaba mayor inversión no solo de tiempo sino de recursos. Así mismo, el uso de mapas de parámetros de suelos ha permitido la estandarización de la producción y la calidad de los cultivos. Al tener claro las zonas con excesos y/o deficiencias de distintos nutrientes en el suelo, se puede estandarizar la producción tanto en calidad como en cantidad, llevando así los lotes con menores producciones a un nivel más adecuado y mejorando la calidad de los sectores con problemas.
- Las distintas herramientas de agricultura de precisión como imágenes de NDVI, imágenes térmicas y mapas de parámetros de suelos, han demostrado tener una correlación entre ellas, brindando información más precisa para la toma de decisiones en campo si se aplican de manera conjunta.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda propiciar, desde el ámbito universitario, espacios de discusión para que las distintas empresas y profesionales ligados al rubro de la agricultura de precisión puedan mostrar su tecnología, aplicaciones, avances e impacto en el sector.
- Se recomienda generar estudios de investigación que permitan validar las distintas herramientas de agricultura de precisión para las condiciones específicas del Perú.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Adex Data Trade. (Agosto de 2021). *Asociación de Exportadores*. Consultado el 06 de octubre de 2021 de <https://www.adexperu.org.pe/>
- Andina. (15 de Marzo de 2019). Estos son los cultivos peruanos de mayor demanda en el mundo. Andina. Consultado el día 15 de setiembre de 2021 de <https://andina.pe/agencia/noticia-estos-son-los-cultivos-peruanos-mayor-demanda-el-mundo-745513.aspx>
- Andina. (02 de Agosto de 2020). Perú alcanza las 12,000 hectáreas de cultivos de arándanos. Andina. Consultado el día 15 de setiembre de 2021 de <https://andina.pe/agencia/noticia-peru-alcanza-las-12000-hectareas-cultivos-arandanos-808255.aspx>
- Asociación de Exportadores – ADEX. (10 de Agosto de 2021). Perú exportó uva por más de US\$ 521 millones. Consultado el 15 de setiembre de 2021 de <https://www.adexperu.org.pe/notadeprensa/adex-peru-exporto-uva-por-mas-de-us-521-millones/>
- Barrientos, P. (2018). La agricultura peruana y su capacidad de competir en el mercado internacional. *Equidad y Desarrollo*, (32), 143-179. <https://doi.org/10.19052/ed.5056>
- Bauder, J.W., y Gee, G. W. (1986). Análisis del tamaño de partículas. Métodos de análisis de suelos, Parte 1, Métodos físicos y mineralógicos. *Agronomía Monográfica*, 9(2), Madison, Wisconsin, Sociedad Estadounidense de Agronomía.
- Bazan, R. (2017). *Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego*, Lima, Peru, Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA.
- Blackmore, S. (1994). Precision Farming: An Introduction. 23(4), 275-280. doi: 10.1177/003072709402300407.
- Campillo, C., Millán, S., Pérez, J., Carrasco, F., Lara, E., y Pireto, M. (2019). Evaluación de imágenes satelitales para el estudio de la distribución térmica en una parcela comercial de Olivar en Seto. *CICYTEX, Centro de Investigaciones Científicas y*

- Tecnológicas de Extremadura (CICYTEX), 06187 Guadajira (Badajoz).* doi: 10.17398/AERYD.2019.A13
- Chartuni, E., y Magdalena, C. (2014). *Manual de Agricultura de Precisión*. Montevideo, Uruguay: IICA, Procisur. Recuperado de <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/999435/1/Manualagricultura.pdf>
- Comisión de Promoción del Perú para la Exportación y el Turismo – PROMPEÚ. (02 de Mayo de 2021). Palta Hass consolida al Perú como el segundo productor y exportador a nivel mundial. Consultado el 15 de setiembre de 2021 de <https://boletines.exportemos.pe/1718/palta-hass-consolida-al-peru-como-el-segundo-productor-y-exportador-a-nivel-mundial>
- Díaz García-Cervigón, J. (2015). *Estudio de Índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión*. Trabajo fin de Máster 2014-2015. Universidad Complutense Madrid, Madrid, España. Recuperado de https://eprints.ucm.es/id/eprint/31423/1/TFM_Juan_Diaz_Cervignon.pdf
- Fernández, M., Cánovas, G., y Martín, E. (2013). *Manejo de sondas de extracción de solución de suelo y métodos rápidos de determinación de nitratos*. Junta de Andalucía, Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural, Almería, España. Recuperado de <https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/servifapa/registro-servifapa/22c51947-60a2-4f21-836a-a4bf21ec2de2>
- Fernandez Sarria, A. (2018). *Cálculo de temperatura de superficie a partir de imágenes NOAA, Landsat y Sentinel-3*. ETS Ing. Geodésica, Cartográfica y Topográfica, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España. Recuperado de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/103166/Fern%20C3%A1ndez%20-%20CALCULO%20DE%20TEMPERATURA%20DE%20SUPERFICIE%20A%20PARTIR%20DE%20IM%20C3%81GENES%20NOAA%20C%20LANDSAT%20Y%20SENTINEL-3.pdf?sequence=1>
- Fountas, S., Pedersen, S. M., & Blackmore, S. (2003). ICT in Precision Agriculture - diffusion of technology. Consultado el día 30 de setiembre de 2021 de https://economics.agri.huji.ac.il/sites/default/files/agri_economics/files/gelb-pedersen-5.pdf

- Gestión. (4 de Noviembre de 2019). ¿En qué productos agrícolas Perú será líder de las exportaciones mundiales?. Consultado el día 28 de noviembre de 2021 de <https://gestion.pe/fotogalerias/en-que-productos-agricolas-peru-sera-lider-de-las-exportaciones-mundiales-noticia-2/?ref=gesr>
- Gia, A. (2017). *Uso de lisímetros de succión para extracción de solución nutritiva del suelo, en el cultivo de tomate (Solanum Lycopersicum L.)*. Trabajo de titulación 2017. Universidad Técnica de Machala, Machala, Ecuador. Recuperado de http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/11696/1/DE00016_TRABAJODETITULACION.pdf
- Jaramillo, D.F. (2011). *El suelo: Origen, Propiedades, Espacialidad*. Universidad Nacional de Colombia. Medellín.
- Loures, L., Chamiso, A., Ferreira, P., Loures, A., Castanho, R., y Panagopoulos, T. (2020). Assessing the Effectiveness of Precision Agriculture Management Systems in Mediterranean Small Farms. *ResearchGate*, 12(9), 3765. Recuperado de <https://doi.org/10.3390/su12093765>
- Martínez-Barbáchano, R. (Julio de 2020). *scielo*. Estimación de la temperatura superficial en imágenes históricas Landsat 5 mediante corrección atmosférica monocanal en el térmico para la cuenca del río Tempisque-Bebedero (Costa Rica). *Revista Geográfica de America Central*. Número 65(2) • Julio-diciembre 2020. Recuperado de <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rge/n65/2215-2563-rge-65-17.pdf>
- Muñoz, P. (Abril de 2013). *Apuntes de Teledetección: Índices de vegetación*. Centro de información de Recursos Naturales. Ministerio de Agricultura - Gobierno de Chile. Recuperado de <http://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/26389/Tema%20Indices%20de%20vegetaci%C3%B3n%20Pedro%20Mu%C3%B1oz%20A.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT (2000), Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2da sección, México, 2003, Pág. 15-31.
- Portalfruticola.com. (30 de Junio de 2021). Radiografía a Perú: Cómo las uvas, arándanos y aguacates impulsan las exportaciones de frutas. Consultado el día 28 de noviembre de 2021 de <https://www.portalfruticola.com/noticias/2021/06/30/radiografia-a-peru-como-las-uvas-arandanos-y-aguacates-impulsan-las-exportaciones-de-frutas/>

- SGS del Peru (2021). Mapeo Verde Satelital. Guía de Interpretación
- Soilmoisture Equipment Corp. (Julio de 2007). Operating Instructions. 1900 Soil Water Samplers
- Towers, P. (2009). *Mapeo de Variabilidad de Vid con NDVI*. Agrisat, Argentina. Recuperado de <http://www.agrisat-sa.com.ar/wp-content/uploads/2016/05/mapeo-ndvi-vid-web.pdf>
- Wolkowski, R. y Wollenhaupt, N., (1994). Grid Soil Sampling for Precision and Profit. 78(4). Recuperado de [http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/CDD207A2ADFB855385257D310068B14C/\\$FILE/BC-1994-4%20p6.pdf](http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/CDD207A2ADFB855385257D310068B14C/$FILE/BC-1994-4%20p6.pdf)

VIII. ANEXOS

ANEXO 1. Extracto de procedimiento interno titulado: INTALACIÓN Y MUESTREO CON LISIMETROS SOILMOISTURE PARA EL MONITOREO DE ALTA FRECUENCIA

SGS	PROCEDIMIENTO SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD	Código : AGRIDIV-P-12
		Revisión : 02
Título: INSTALACIÓN Y MUESTREO CON LISÍMETROS SOILMOISTURE PARA EL MONITOREO DE ALTA FRECUENCIA		Página : 3 de 7
		Fecha : Marzo 2014
		Revisado : MV/MR
		Aprobado : ACH/JS
Copia Asignada a:	LA COPIA IMPRESA DE ESTE DOCUMENTO ES UNA COPIA NO CONTROLADA	

7. PROCEDIMIENTO

Preparación de Lisímetros previo a la instalación

Previo a la instalación, cada capsula porosa, debe ser saturada en agua de riego para dar rapidez al funcionamiento. Esto se logra de la siguiente forma:

1. Por lo menos 30 minutos antes de instalar los lisímetros se deber realizar el vacio hasta 0,7 bar en cada uno de ellos.
2. Depositar cada lisímetro en un recipiente limpio, con agua de riego del sector donde voy a realizar instalación. Este punto es importante para evitar saturar los lisímetros con aguas duras y salinas que podrían alterar la primera medición. Es importante nunca realizar este procedimiento con agua potable ya que estas aguas presentan cloruros que pueden contaminar las capsulas.
3. Sacar la solución resultante de cada lisímetro a los 15 minutos y volver a realizar el proceso. En total se debe realizar este proceso 2 veces en los 30 minutos.
4. Previo a la instalación se debe verificar que todas las capsulas mantengan el vacio. si alguna de ellas pierde vacio reemplazarla de inmediato.

Instalación de Lisímetros

- Definir los puntos donde se colocaran los lisímetros de succión, tomando como premisa la uniformidad del campo, edad de plantación, variedad, portainjerto, sector de riego y productividad.

Paso 01



- Con el barreno realizar la perforación a unos 10 cm de la proyección del gotero, hasta la profundidad donde se quiere instalar los lisímetros. Repetir la labor en el siguiente árbol (para el caso de frutales) o a unos 3 metros (para el caso de hortalizas) para instalar los siguientes lisímetros a otras profundidades.
- Una vez extraída la última capa de suelo, que estará inmediatamente en contacto con la capsula porosa, se debe realizar una pasta con el agua de riego y el suelo, con el fin de envolver toda la capsula porosa y que quede en contacto inmediato con el suelo.
- En suelos muy arenosos donde se requiere contacto entre la capsula y el suelo, se puede usar grava de 200 mesh (75micras) de espesor, con el fin de fomentar el contacto entre el lisímetro, la capsula y el suelo.

Paso 02

- Introducir el lisímetro cuidadosamente sin dañar el cerámico en los hoyos realizados previamente, luego cubrir la capsula con el suelo extraído y adicionar agua para saturar el lisímetro.

Paso 03**Paso 04**

SGS	PROCEDIMIENTO SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD	Código : AGRIDIV-P-12
		Revisión : 02
Título: INSTALACIÓN Y MUESTREO CON LISÍMETROS SOILMOISTURE PARA EL MONITOREO DE ALTA FRECUENCIA		Página : 5 de 7
		Fecha : Marzo 2014
		Revisado : MV/MR
		Aprobado : ACHIJS
Copia Asignada a:	LA COPIA IMPRESA DE ESTE DOCUMENTO ES UNA COPIA NO CONTROLADA	

Paso 05



Paso 06



ANEXO 2. Fotografías de la instalación de lisímetros y toma de muestras de solución suelo







ANEXO 3. Fotografías de muestreo de suelos en un servicio de mapeo de suelos



Muestreo de suelos en el cultivo de palto



Muestreo de suelos en el cultivo de uva



Ingreso a un campo de palto para iniciar trabajo de muestreo de suelos

ANEXO 4. Fotografías que comparan el estado de los árboles de palto en zonas con distinto NDVI

ZONA VERDE



ZONA AMARILLA



ZONA ROJA



ANEXO 5. Extracto del manual de uso de la plataforma *iFood* para mapeo satelital

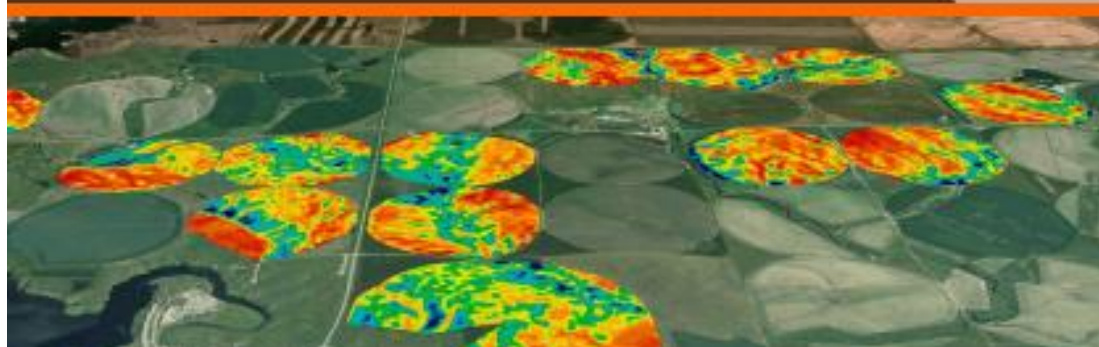
iFood - Mapeos



Crop Science

MANUAL DE USO

iFood sistema exclusivo para clientes de SGS: donde podrá ver en línea sus resultados de monitoreo de fertirriego y mapeo satelital, para tomar decisiones oportunas, donde sea que te encuentres.





1. INICIAR SESIÓN

1.1. Para acceder a la plataforma iFood, deberá ingresar al siguiente link:



1.2. A continuación deberá ingresar su usuario y contraseña y dar clic en **INGRESAR**.



2. PESTAÑA MAPEOS

- 2.1. Cuando acerque el cursor al "MENU" se desplegarán todas las funciones y/o pestañas habilitadas para su usuario.
- 2.2. Para visualizar los mapas de NDVI deberá ingresar a la opción "Mapeos" y "Mapeo Satelital".





3. CONSULTA DE MAPAS

3.1. Una vez dentro de la ventana *Mapeo Satelital*, se mostrarán los siguientes filtros:

The screenshot shows the 'MAPEO SATELITAL' form with the following fields and values:

Localidad	Cultivo	Lote
Selecciones	Selecciones	Selecciones
Fecha		
Selecciones		

Buttons: **Buscar**, **Exportar PDF**

3.2. En cada uno de los filtros deberá seleccionar la opción de su interés y dar clic en **Buscar**:

- **Localidad:** Corresponde a la localidad asociada a la razón social del cliente.
- **Cultivo:** Corresponde al cultivo que se está monitoreando.
- **Lote:** Nombre del campo mapeado.
- **Fecha:** Se refiere a la fecha de toma de la imagen satelital.

The screenshot shows the 'MAPEO SATELITAL' form with the following filters selected:

Localidad	Cultivo	Lote
FINANCIAL	Lote	ASOCIACION
Fecha		
2014-01-27		

Buttons: **Buscar**, **Exportar PDF**

A red arrow points to the **Buscar** button.

Below the form is a satellite map showing a field with a color-coded overlay (green, yellow, red) indicating different crop health or types. A legend is visible in the bottom right corner of the map.



4. DESCARGAR REPORTES

4.1. Usted podrá descargar el mapa en formato PDF el cual es un reporte que integra datos del campo, leyenda, datos estadísticos, etc. Para ello, deberá dar clic en "Exportar PDF".

MAPEO SATELITAL

LOCALIDAD:
 MUNICIPIO:
 MUNICIPIO:

FECHA:

- Reporte en PDF que podrá archivarlo en su PC:

